



(51) Internationale Patentklassifikation 6 : G01D 5/00	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/43046 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 1. Oktober 1998 (01.10.98)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT98/00076		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 23. März 1998 (23.03.98)		
(30) Prioritätsdaten: A 505/97 21. März 1997 (21.03.97) AT	AT	Veröffentlicht <i>Ohne internationalem Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
(71)(72) Anmelder und Erfinder: BRASSEUR, Georg [AT/AT]; Eßlergasse 20, A-1130 Wien (AT).		
(74) Anwalt: MATSCHNIG, Franz; Siebensterngasse 54, A-1071 Wien (AT).		

(54) Title: CAPACITIVE SENSOR FOR ROTATION ANGLE AND ANGULAR VELOCITY, AND MEASURING DEVICE FOR SAME

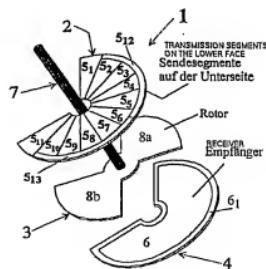
(54) Bezeichnung: KAPAZITIVER DREHWINKEL- UND WINKELGESCHWINDIGKEITSSENSOR UND MESSEINRICHTUNG
FÜR EINEN SOLCHEM

(57) Abstract

This invention concerns a capacitive sensor for a rotation angle with a first stator (2) which has a plurality of electrically conductive, mutually insulated electrodes (5) in the form of annular sectors with a predetermined central angle, with a second stator (4) arranged parallel to the first stator which has a receiving electrode (6), and with a rotor (3) mounted on a shaft (7) which can rotate about an axis. Said rotor (3) has at least one sector-shaped blade (8a, 8b) arranged normal to the rotational axis and parallel to and between the first and the second stators. The sum of the central angles of all transmitting electrodes is less than 2π (360°), preferably ranging from $\pi/12$ (30°) to $5\pi/6$ (300°), and the central angle of each rotor blade is essentially equal to the sum of the central angles of n adjacent transmitting electrodes. At least one of the stators has a recess (2a) open toward its boundary which makes radial introduction of the shaft (7) into the axis region possible during assembly together with the rotor, so that the central angle of this stator (2) is less than 360° and the central angle of the electrode (6) of the second stator (4) is essentially equal to the sum of the central angles of all the electrodes of the first stator (2).

(57) Zusammenfassung

Ein kapazitiver Drehwinkelsensor mit einem ersten Stator (2), der eine Anzahl elektrisch leitender, voneinander isolierter kreisringsektorförmiger Elektroden (5) mit einem vorbestimmtenten Zentriwinkel aufweist, mit einem parallel zu dem ersten Stator angeordneten zweiten Stator (4), der eine Empfangselektrode (6) aufweist, und mit einem um eine Achse drehbaren, auf einer Welle (7) sitzenden Rotor (3), welcher zumindest einen normal zur Drehachse ausgerichteten, sektorförmigen Flügel (8a, 8b) aufweist, der zwischen dem ersten und dem zweiten Stator und parallel zu diesen angeordnet ist, wobei die Summe der Zentriwinkel aller Sende-Elektroden kleiner als 2π (360°) vorzugsweise im Bereich zwischen $\pi/12$ (30°) und $5\pi/6$ (300°) ist und der Zentriwinkel jedes Rotorflügels im wesentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel von n benachbarten Sende-Elektroden ist, wobei zumindest einer der Statoren eine zu seiner Berührung hin offene Ausschüttung (2a) besitzt, welche beim Zusammenbau ein radiales Einschieben der Welle (7) samt Rotor in den Achsbereich ermöglicht, so daß der Zentriwinkel dieses Stators (2) kleiner als 360° ist und der Zentriwinkel der Elektrode (6) des zweiten Stators (4) im wesentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel aller Elektroden des ersten Stators (2) ist.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäß dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Ostreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschaud
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Grönland	ML	Mali	TK	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Brasilien	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Irland	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

KAPAZITIVER DREHWINKEL- UND WINKELGESCHWINDIGKEITSSENSOR UND MEßEINRICHTUNG FÜR EINEN SOLCHEN

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen kapazitiven Drehwinkelsensor mit einem ersten Stator, der eine Anzahl elektrisch leitender, voneinander isolierter kreisringsektorförmiger Elektroden mit einem vorbestimmten Zentriwinkel aufweist, mit einem parallel zu dem ersten Stator angeordneten zweiten Stator, der eine Empfangselektrode aufweist, und mit einem um eine Achse drehbaren, auf einer Welle sitzenden Rotor, welcher zumindest einen normal zur Drehachse ausgerichteten, sektorförmigen Flügel aufweist, der zwischen dem ersten und dem zweiten Stator und parallel zu diesen angeordnet ist, wobei die Summe der Zentriwinkel aller Sendeelektroden kleiner als 2π (360°) vorzugsweise im Bereich zwischen $\pi/12$ (30°) und $5\pi/6$ (300°) ist und der Zentriwinkel jedes Rotorflügels im wesentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel von benachbarten Sendeelektroden ist. Weiters bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine Meßeinrichtung zum Bestimmen eines Drehwinkels mittels eines kapazitiven Drehwinkelsensors.

Ein kapazitiver Drehwinkelsensor und eine Meßeinrichtung der oben genannten Art gehen beispielsweise aus der US 5,598,153 des Anmelders hervor. Bei diesem bekannten Drehwinkel-sensor sind vier bzw. acht sektorförmige Sendeelektroden vorgesehen, die einen Drehwinkel von 2π vollständig überdecken. Die Empfangselektrode ist als eine Kreisringelektrode ausgebildet. Der Rotor weist einen oder zwei sektorförmige Flügel auf, wobei die Formgebung jedes Flügels der Bedingung unterliegt, daß der Zentriwinkel des Rotorflügels der Summe der Zentriwinkel von zwei Sendeelektroden des ersten Stators ist. Die Meßeinrichtung für diesen kapazitiven Drehwinkelsensor weist eine Ansteuereinheit mit vier Ausgängen, die mit den vier bzw. acht Sendeelektroden des ersten Stators elektrisch verbunden sind, und eine Auswerteeinheit zur Bestimmung des Drehwinkels auf, die mit der Empfangselektrode des zweiten Stators verbunden ist. Durch die geometrischen Besonderheiten des oben beschriebenen Sensors und der Ansteuerung bzw. Signalauswertung, ergibt sich trotz einfacher Bauweise und geringer Herstellungskosten eine besonders hohe Meßgenauigkeit über einen Winkel von 360° . Diese Meßgenauigkeit wird überdies durch Fehlereinflüsse, wie z.B. Achsversatz des Rotors, Verkippung und dgl. nicht nachhaltig beeinflußt.

Ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine Weiterentwicklung des oben angeführten Sensors bzw. der zugehörigen Meßeinrichtung, um unter anderem einen Platzverbrauch

und/oder einen leichten und einfachen Einbau der Sensorkomponenten bzw. eine einfache Austauschbarkeit bestimmter Komponenten zu ermöglichen und dennoch die einfache und kostengünstige Herstellungsmöglichkeit bei einer hohen Meßgenauigkeit zu erhalten.

Diese Aufgabe wird bei einem Sensor der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß zumindest einer der Statoren eine zu seiner Berandung hin offene Ausnehmung aufweist, welche beim Zusammenbau ein radiales Einschieben der Welle samt Rotor in den Achsbereich ermöglicht, sodaß der Zentriwinkel dieses Stators kleiner als 360° ist, und der Zentriwinkel der Elektrode des zweiten Stators im wesentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel aller Elektroden des ersten Stators ist. Durch diese erfindungsgemäßen Maßnahmen ist es möglich, den Sensor bei einem geringeren Platzverbrauch herzustellen. Vor allem können die Statoren zufolge der Ausnehmung unabhängig voneinander und unabhängig vom Rotor aus- und eingebaut werden, wobei der betreffende Stator aufgrund der verringerten Elektrodenfläche nun nicht mehr als kreisringförmige Scheibe ausgebildet sein muß. Trotz des geringeren Platzverbrauchs und der besonders einfachen Herstellung ist es bei einem erfindungsgemäßen Sensor möglich, mit hoher Genauigkeit einen Winkelbereich von 2π zu erfassen.

Im Sinne einer verbesserten Meßgenauigkeit hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn bei einer Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Sensors die Elektroden des ersten Stators zwei Schirmelektroden beinhalten, da hierdurch Feldverzerrungen durch äußere Einflüsse weitgehend vermieden werden.

An der radial verlaufenden, freien Berandung der Sendeelektrodenanordnung kann es bei einer paarweisen Ansteuerung der Sendeelektroden vorkommen, daß ein Elektrodenpaar nicht unmittelbar benachbart angeordnet ist, sodaß gegebenenfalls im Bereich dieses Elektrodenpaares eine gegenüber jenen Paaren, die unmittelbar benachbart angeordnet sind, eine geänderte Feldverteilung vorliegt. Zu diesem Zweck ist bei einer bevorzugten Ausführungsform dieser Ausführungsvariante vorgesehen, daß der Stator $2n+1$ ($n \geq 4$) Sendeelektroden aufweist, von welchen zu jedem Zeitpunkt n vorbestimmte Sendeelektroden mit n benachbarten Sendeelektroden elektrisch miteinander verbindbar sind, sodaß zu jedem Zeitpunkt eine einzelne, nicht mit einer benachbarten Sendeelektrode verbundene Sendeelektrode bereitgestellt wird. Diese Anordnung ermöglicht nun, daß bei jeder beliebigen paarweisen Ansteuerung von Sendeelektrodenpaaren immer die paarweise zusammengefaßten Elektroden unmittelbar nebeneinander angeordnet sind, sodaß für alle Elektrodenpaare gleichartige Feldverteilungen zu erwarten sind.

Weiters hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Empfangselektrode als ein Kreisringktor ausgebildet ist, dessen Zentriwinkel im wesentlichen der Summe der Zentriwinkel aller Sendeelektroden entspricht und die gegebenenfalls durch eine gesamte Empfangselektrode

umfassende Schirmelektrode, die mit einem festen Potential verbunden ist, begrenzt ist. Dadurch ist auch für die Empfangselektrode ein geringer Platzbedarf und ein einfaches Aus- und Einbauen möglich.

Bei einem Sensor, bei welchem eine Drehwinkelmessung über 2π (360°) möglich sein soll, ist bei einer vorteilhaften Ausführungsform vorgesehen, daß der Rotor zumindest zwei, als Kreis-sektoren ausgebildete Flügel mit jeweils gleichem Zentriwinkel aufweist. Um eine eindeutige und dennoch einfache Zuordnung zwischen Rotorstellung und Drehwinkel zu ermöglichen, kann in diesem Fall vorgesehen sein, daß zumindest zwei Flügel des Rotors eine unterschiedliche radiale Ausdehnung aufweisen, wobei der die Sende-elektroden aufweisende erste Stator zumindest zwei weitere Elektroden aufweist, deren Abstand von der Drehachse größer als die radiale Ausdehnung eines kürzeren Flügels ist und die im Bereich der radialen Ausdehnung eines längeren Flügels angeordnet sind. Durch die unterschiedliche Länge der Rotorflügel und entsprechender Statorelektroden wird in einfacher Weise zusätzliche Information gewonnen, die zuverlässig Auskunft über die Absolutposition des Rotors gibt.

Für den praktischen Einsatz ist es vorteilhaft, wenn alle Sende-elektroden, außer gegebenenfalls zwei Begrenzungselektroden, die an den beiden in radialer Richtung verlaufenden Berandungen des Stators angeordnet sind, identische Zentriwinkel aufweisen. Man kann dann den Zentriwinkel gegebenenfalls vorhandener Begrenzungselektroden entsprechend der erwarteten Feldverteilung in der Weise anpassen, daß die auf der Empfangsfläche influenzierten Ladungsmengen jedes einzelnen Sende-segmentes im Mittel gleich groß sind. Durch diese auf die zu erwartende Feldverteilung abzielende Dimensionierung der Sende-elektroden ist in vorteilhafter Weise eine gleichbleibende Meßgenauigkeit über den gesamten Meßbereich des Sensors möglich.

Eine weitere Verbesserung der Meßgenauigkeit des Sensors ergibt sich dadurch, daß an den beiden, in radialer Richtung verlaufenden Berandungen des ersten Stators die kreisringsektor-förmigen Schirmelektroden angeordnet sind, und der Zentriwinkel der Empfangselektrode des zweiten Stators im wesentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel aller Sende-elektroden plus der beiden Schirmelektroden ist. Diese Maßnahme führt zwar zu einem geringfügig höheren Platzverbrauch, ergibt jedoch eine optimale Abschirmung des Sensors im Randbereich, sodaß eine Feldverzerrung innerhalb des Sensors durch äußere Einflüsse weitgehend vermieden werden kann. Der einfache Zusammenbau und die Auswechselbarkeit der Sensorkomponenten wird dadurch in vorteilhafter Weise nicht nachhaltig beeinflußt.

Für praktische Zwecke ergeben sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung zwei vorteilhafte, jedoch nicht einschränkende Ausführungsbeispiele, bei welchen entweder der erste Stator acht oder neun Sende-elektroden mit je einem Zentriwinkel von ca. $\pi/8$ (22,5°) und der Rotor zu-

mindest einen, vorzugsweise zwei diametral angeordnete Flügel mit einem Zentriwinkel von ca. $\pi/2$ (90°) aufweist oder der erste Stator acht oder neun Sendeelektroden mit einem Zentriwinkel von ca. $\pi/12$ (15°) und der Rotor zumindest einen, vorzugsweise drei in regelmäßigen Abständen angeordnete Flügel mit einem Zentriwinkel von ca. $\pi/3$ (60°) aufweist.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung soll es klar sein, daß der Drehwinkelsensor nicht nur zur Bestimmung einer absoluten oder relativen Drehwinkelposition, sondern auch zur Bestimmung einer Drehinkelgeschwindigkeit vorteilhaft einsetzbar ist.

Ausgehend von einem Drehwinkelsensor der erfundungsgemäßen Art, welcher einen Stator mit $2n+1$ ($n \geq 4$) und Sendeelektroden aufweist, von welchen zu jedem Zeitpunkt n vorbestimmte Sendeelektroden mit benachbarten Sendeelektroden elektrisch miteinander verbindbar sind, sodaß zu jedem Zeitpunkt eine einzelne, nicht mit einer benachbarten Sendeelektrode verbundene Sendeelektrode bereitgestellt wird, eine besonders vorteilhafte Meßeinrichtung, die durch die Kombination der folgenden Merkmale gekennzeichnet ist: Eine mit der Empfangselektrode des zweiten Stators verbundene Auswerteeinheit zum Empfangen und Verarbeiten eines einzigen Empfangssignals, wobei die Auswerteeinheit eine Trennvorrichtung zum Trennen des Empfangssignals hinsichtlich der Sendesignale und eine Einheit zur Bestimmung des Drehwinkels oder der Drehinkelgeschwindigkeit aufweist, eine mit je einem Ausgang an je eine Sendeelektrode angeschlossene Ansteuereinheit, die dazu eingerichtet ist, für eine vorbestimmte erste Zeitperiode an zumindest je zwei benachbarte Sendeelektroden je ein identisches vorbestimmtes erstes Sendesignal zu liefern und für eine vorbestimmte zweite Zeitperiode an zumindest je zwei benachbarte Sendeelektroden je ein identisches vorbestimmtes zweites Sendesignal zu liefern, die mit dem ersten Sendesignal belieferten Sendeelektrodenpaare in bezug auf die mit dem zweiten Sendesignal belieferten Sendeelektrodenpaare um zumindest eine Elektrode versetzt angeordnet sind, und in jeder der beiden Zeitperioden zumindest eine der am Rand liegenden Sendeelektroden mit Masse verbunden ist.

Eine weitere Verbesserung der Ansteuer- und Auswerteeinheit kann dadurch erreicht werden, daß die Ansteuereinheit eine Einheit zum Modulieren der Sendesignale mit einem elektrischen Hochfrequenzsignal und die Auswerteeinheit einen Trägerfrequenzverstärker und einen Demodulator für dieses Hochfrequenzsignal aufweist. Durch eine Hochfrequenzmodulation (Schmalbandsystem) ist der Sensor unempfindlicher gegen störende Fremdfelder und gegen Leckströme zufolge leitfähiger Beläge auf dem zweiten Stator, der Empfängerscheibe.

Eine beträchtliche Verbesserung des Signal-Störabstandes kann erreicht werden, falls bei der Empfangselektrode des Drehwinkelsensors ein Schwingkreis angeordnet ist, der auf die Trä-

gerfrequenz abgestimmt ist, wobei der Kondensator dieses Schwingkreises die Kapazität der Empfangselektrode beinhaltet.

Weiters kann bei einer Meßeinrichtung der erfundungsgemäßen Art vorgesehen sein, daß die Ansteuereinheit dazu eingerichtet ist, zwischen der ersten Zeitperiode und der zweiten Zeitperiode und nach der zweiten Zeitperiode während einer neutralen Zeitperiode Ansteuersignale zu liefern, die so gewählt sind, daß im wesentlichen unabhängig von der Stellung des Rotors an der Empfangselektrode eine mittlerer Verschiebungsstrom influenziert wird, sodaß ein in der Auswerteeinheit vorhandener Ladungsverstärker oder Trägerfrequenzverstärker in diesen Zeitphasen, in welchen keine Messungen vorgenommen werden, unabhängig von der Rotorstellung im wesentlichen in eine Mittelstellung zurückgeführt wird.

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung nicht einschränkender Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung, wobei auf die beiliegenden Figuren Bezug genommen wird. In diesen zeigen:

Fig. 1a, 1b schematisch ein erstes Ausführungsbeispiel für einen kapazitiven Drehwinkelsensor der erfundungsgemäßen Art in einer perspektivischen Ansicht (Fig. 1a) und in einer schematischen Explosionsdarstellung einzelner Komponenten (Fig. 1b).

Fig. 2a, 2b schematisch ein zweites Ausführungsbeispiel für einen kapazitiven Drehwinkelsensor der erfundungsgemäßen Art in einer perspektivischen Ansicht (Fig. 2a) und in einer schematischen Explosionsdarstellung einzelner Komponenten (Fig. 2b),

Fig. 3 den Sensor gemäß der Fig. 1a und 1b in einer Ausführungsvariante,

Fig. 4 ein schematisches Ausführungsbeispiel für eine Meßeinrichtung der erfundungsgemäßen Art und

Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel für Ansteuersignale der Meßeinrichtung gemäß Fig. 4.

Vorerst wird auf die Fig. 1a und 1b Bezug genommen, in welchen ein kapazitiver Drehwinkelsensor 1 mit einem ersten ortsfesten Stator 2, einem um eine Drehachse drehbaren Rotor 3 und einem zweiten, ebenso ortsfesten Stator 4 dargestellt ist, wobei die einander zugewandten Innenflächen der Statoren 2, 4 planparallel zueinander ausgerichtet sind und mit den folgenden Sende- und Empfangselektroden versehen sind.

Der erste Stator 2 weist an seiner Innenfläche eine Anzahl von elektrisch leitenden, voneinander isolierten Sendeelektroden 5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀, 5₁₁ auf, die in Form je eines Kreisringsektors mit einem vorbestimmtem Zentriwinkel ausgebildet sind und die mit ihren radialen Berandungen einander unmittelbar benachbart angeordnet sind, sodaß die aus

allen Elektrodenflächen des ersten Stators 2 gebildete Fläche ein Kreisringsektor ist, dessen Zentriwinkel im wesentlichen gleich der Summe aller Zentriwinkel der einzelnen Sendeelektroden $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}$ ist. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist dieser Gesamt-Zentriwinkel aller Sendeelektroden $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}$ kleiner als 2π und liegt vorzugsweise im Bereich zwischen $\pi/12$ und $5\pi/6$. Für eine besonders vorteilhafte praktische Realisierung der vorliegenden Erfindung liegt der Gesamt-Zentriwinkel im Bereich zwischen $\pi/2$ und $3\pi/2$.

Der zweite Stator 4 weist an seiner Innenfläche eine einzige, als Kreisringsektor ausgebildete, elektrisch leitende Empfangselektrode 6 auf, deren Zentriwinkel gleich der Summe der Zentriwinkel aller Sendeelektroden $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}$ ist und die gegebenenfalls durch eine die gesamte Empfangselektrode 6 umfassende Schirmelektrode, die mit einem festen Potential verbunden ist, begrenzt ist.

Der zwischen dem ersten und dem zweiten Stator 2, 4 normal zur Drehachse und parallel zu den Innenseiten der Statoren 2, 4 angeordnete Rotor 3 weist zwei diametrale Flügel 8a, 8b auf, die an einer um die Drehachse drehbaren Welle 7 angeordnet sind. Die Flügel 8a, 8b des Rotors 3 können aus einem elektrisch leitendem Material, z.B. einem Metall, oder aus einem dielektrischen Material gefertigt sein. Es besteht bei dem erfindungsgemäßen Sensor weiters die Möglichkeit, den Rotor aus einem beiderseitig metallbeschichteten dielektrischen Material mit einer elektrischen Verbindung dieser Beschichtungen zu fertigen, z.B. in Form einer durchkontaktierten Leiterplatte.

Der Zentriwinkel jedes Flügels 8a, 8b des Rotors 3 ist bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel gleich der Summe der Zentriwinkel von vier Sendeelektroden z.B. s_2, s_3, s_4, s_5 , wobei die Ansteuerung der Sendeelektroden in der Weise erfolgt, daß zu jedem Zeitpunkt zwei benachbarte Elektroden dasselbe Sendesignal erhalten, z.B. das Sendeelektrodenpaar s_2, s_3 . Bei Be- trachtung der vorhandenen elektrischen Felder ist somit dem Zentriwinkel eines Flügels stets die Summe der Zentriwinkel von zwei Sendeflächen zugeordnet, wobei jede Sendefläche durch zwei benachbarte Elektrodenflächen gebildet wird. Einzelheiten der Ansteuerung der Sendeelektroden werden weiter unten mit Bezug auf die Figuren 4 und 5 näher erläutert.

Von den in Fig. 1a, 1b dargestellten elf Sendeelektroden $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}$ sind die zwei Randelektroden s_1, s_{11} als Schirmelektroden vorgesehen, die den Sensor gegen äußere Einflüsse abschirmen und gegebenenfalls eine Verzerrung der elektrischen Felder der äußersten Sendeelektroden s_2, s_{10} vermeiden. Der Zentriwinkel der Begrenzungselektroden ist der zu erwartenden Feldverteilung entsprechend angepaßt, daß die auf der Empfangsfläche 6 influenzierten Ladungsmengen im Mittel gleich groß sind. Weiters kann zur

Abschirmung des Sensors gegen störende radiale Feldeinflüsse die Empfangselektrode 6 des Stators 4 durch eine Schirmelektrode 6₁, die, wie die Randelektronen 5₁, 5₁₁ des Stators 2 üblicherweise auf ein festes Potential, beispielsweise Masse, gelegt sind, vollständig umrandet sein (vgl. Darstellung der Empfangselektrode in Fig. 4). Von den verbleibenden neun Sende-elektronen 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ werden zu jedem Zeitpunkt ständig acht Elektroden paarweise mit einem elektrischen Spannungssignal angesteuert, sodaß der erste Stator 2 stets vier Sendeplächen aufweist, die im Laufe eines Meßzyklus um den Drehwinkel einer Sende-elektrode versetzt werden, z.B. wenn in einer ersten Meßphase die Sende-elektronen 5₃/5₄, 5₅/5₆, 5₇/5₈ u. 5₉/5₁₀ gekoppelt sind (vgl. Fig. 1b oben), werden in der zweiten Meßphase die Sende-elektronen 5₂/5₃, 5₄/5₅, 5₆/5₇ u. 5₈/5₉ gekoppelt (vgl. Fig. 1b unten), wobei in der ersten Meßphase die Sende-elektrode 5₁₀ und in der zweiten Meßphase die Sende-elektrode 5₂ ungenutzt, z.B. gemeinsam mit den Schirmelektronen 5₁, 5₁₁ auf ein Massepotential gelegt sind.

Der oben beschriebene Meßzyklus kann grundsätzlich auch mit einem Stator 2 realisiert werden, welcher nur acht Sende-elektronen (z.B. 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉) aufweist, jedoch können bei dieser Ausführungsvariante in einer bestimmten Meßphase zwei miteinander gekoppelte Elektroden (z.B. 5₂/5₉) nicht mehr unmittelbar benachbart sein, sodaß das elektrische Feld dieses Elektrodenpaars zwei zusätzliche Berandungen und naturgemäß eine größere Feldverzerrung aufweist, sodaß für diesen Fall eine geringere Meßgenauigkeit zu erwarten ist.

Der Zentriwinkel aller aktiven Sende-elektronen 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ ist im wesentlichen identisch und beträgt bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel $\pi/8$, wobei jedoch eine gegebenenfalls vorhandene Feldverzerrung der Randelektronen 5₂, 5₁₀ durch eine Anpassung der Größe dieser Elektroden kompensiert werden kann. Die durch die Summe von vier Sende-elektronen mit $\pi/2$ festgelegte Größe der Flügel 8a, 8b des Rotors können aufgrund der Feldverzerrungen an den Rändern der Sende-elektronen 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ ebenso abweichend von der geometrischen Größe der Summe von vier Sende-elektronen an die Größe der zu erwarteten Sende-felder angepaßt werden. Daraus ergibt sich für jeden Flügel 8a, 8b des Rotors 3 erfundungsgemäß ein Zentriwinkel von $\pi/2 \pm \Delta$, wobei Delta gegebenenfalls die Anpassung des Zentriwinkels an die tatsächliche Feldgröße einer Sende-fläche ist. Alternativ zur Anpassung des Zentriwinkels kann auch eine Parallelversetzung der radial verlaufenden Kanten des Flügels zur Anpassung der Flügelgröße genutzt werden. Für den Zentriwinkel der Empfangselektrode 6 ergibt sich bei Verwendung von 9 aktiven Sende-elektronen und zwei Schirmelektronen ein Wert von $11\pi/8$.

In den Fig. 2a und 2b ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Drehwinkelsensor 1 der erfundungsgemäßen Art dargestellt, welcher ähnlich aufgebaut ist wie jener der Figuren 1a, 1b.

In der nachfolgenden Beschreibung werden daher für gleichartige Bauteile auch dieselben Bezeichnungen verwendet und es wird auf eine detaillierte Beschreibung dieser Bauteile verzichtet.

Im Unterschied zu dem früheren Ausführungsbeispiel beträgt der Zentriwinkel einer Sendeelektrode 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ bei dem Drehwinkelsensor gemäß der Figuren 2a, 2b gleich $\pi/12$ bzw. der eines Sendeelektrodenpaars gleich $\pi/6$, sodaß sich für den Zentriwinkel eines Flügels des Rotors 3 erfahrungsgemäß ein Wert von $2\pi/3$ ergibt. Um einen Meßbereich von 2π realisieren zu können, weist der Rotor 3 bei diesem Ausführungsbeispiel drei Flügel 8a, 8b, 8c auf. Die Empfangselektrode 6 ist bei Verwendung von neun Sendeelektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ und zwei Schirmelektroden 5₁, 5₁₁ als ein Kreisringsektor mit einem Zentriwinkel von $2\pi/3 + \pi/4 = 11\pi/12$ ausgebildet.

Die Funktionsweise des Sensors gemäß Fig. 2a, 2b ist analog jenem der Fig. 1a, 1b, jedoch zeichnet sich dieser Sensor durch einen noch geringeren Platzverbrauch aus.

In Fig. 3 ist eine Ausführungsvariante des Sensors 1 gemäß der Fig. 1a, 1b dargestellt, bei welchem eine eindeutige Absolutmessung eines Drehwinkels über einen Bereich von 2π möglich ist. Bei dieser Ausführungsvariante sind entlang des äußeren Umfangs der aktiven Sendeelektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ zwei weitere, voneinander und von den Sendeelektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ elektrisch isolierte kreisringsektorförmige Sendeelektroden 5₁₂, 5₁₃ vorgesehen, die sich jeweils über die den halben Gesamt-Zentriwinkel des Sendebereichs der aktiven Sendeelektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ erstrecken. Für das vorliegende Ausführungsbeispiel mit neun aktiven Sendeelektroden beträgt der Zentriwinkel jeder dieser weiteren Sendeelektroden 5₁₂, 5₁₃ gleich $9\pi/16$. Bei Verwendung von nur acht aktiven Sendeelektroden ergibt sich demnach für den Zentriwinkel der zusätzlichen Sendeelektroden 5₁₂, 5₁₃ ein Wert von $\pi/4$.

Um diese zusätzlichen Sendeelektroden 5₁₂, 5₁₃ in einfacher Weise in die Messung einbezogen zu können, besitzen bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel die Flügel 8a, 8b des Rotors 3 eine unterschiedliche radiale Länge. Beispielsweise ist die Länge des Flügels 8a so gewählt, daß er die zusätzlichen Sendeelektroden 5₁₂, 5₁₃ nicht überstreichen kann, wogegen die Länge des Flügels 8b so gewählt ist, daß er diese zusätzlichen Sendeelektroden 5₁₂, 5₁₃ überstreichen kann. Demnach kann an dem Meßergebnis eindeutig abgelesen werden, welcher der beiden Flügel 8a, 8b sich innerhalb der Sendefläche des ersten Stators befindet. Die Ansteuerung dieser zusätzlichen Elektroden 5₁₂, 5₁₃ wird weiter unten mit Bezug auf die Meßeinrichtung näher erläutert.

Bei einem Drehwinkelsensor, wie er in den Figuren 2a, 2b dargestellt ist, kann die zusätzliche Information über die Absolutposition analog durch drei unterschiedlich lange Rotorflügel realisiert werden.

In Fig. 4 ist ein nicht einschränkendes Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Meßeinrichtung unter Verwendung des Sensors 1 von Fig. 1a dargestellt. Die Meßeinrichtung ist grundsätzlich ähnlich aufgebaut wie jene der eingangs erwähnten US 5,598,153 A des Annehmers, welche demnach ausdrücklich als ein Inhalt dieser Offenbarung anzusehen ist.

Die Meßeinrichtung weist eine Ansteuereinheit 9 auf, welche ausgehend von zwei elektrisch trennbaren Spannungssignalen vier unterschiedliche Ansteuersignale für die aktiven Sende-elektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ erzeugt. Diese vier Signale werden durch die Ansteuereinheit 9 selektiv an neun Ausgängen bereitgestellt, die elektrisch mit den aktiven Sende-elektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ verbunden sind. Ein Beispiel für die selektive Ansteuerung der aktiven Sende-elektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ mittels der Ansteuersignale wird mit Bezug auf die Fig. 5 näher erläutert.

Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Meßeinrichtung zusätzlich einen durch einen Trägerfrequenzgenerator 10 gespeisten Hochfrequenzmodulator 11 auf, der die Signale am Ausgang der Ansteuereinheit 9 mit einem hochfrequenten Signal mit einer Frequenz im Bereich einiger 100 kHz bis einiger 100 MHz, z.B. mit 10,7 MHz, moduliert. Durch diese Hochfrequenzmodulation (Schmalbandsystem) mit anschließendem Trägerfrequenzverstärker und Demodulator 12 ist der Sensor unempfindlicher gegen störende Fremdfelder und gegen Leckströme zufolge leitfähiger Beläge auf dem zweiten Stator 4 (Empfängerscheibe).

Eine beträchtliche Verbesserung des Signal-Störabstandes lässt sich in der Praxis erreichen, wenn man unmittelbar am Ort des Sensors eine Vorselektion vornimmt, was beispielsweise mit Hilfe eines auf die Frequenz abgestimmten LC-Schwingkreises erfolgen kann. Dies ist in Fig. 4 angedeutet: Mit C ist die Kapazität der Empfangselektrode 6 gegen Masse, einschließlich eines allfällig parallelgeschalteten zusätzlichen Kondensators bezeichnet und mit L eine Induktivität. Durch diesen LC-Kreis, dessen Resonanzfrequenz beispielsweise bei der vorhin erwähnten Frequenz von 10,7 MHz liegt, lässt sich eine selektive Spannungsüberhöhung am Eingang des Verstärkers 12 erreichen, für deren Ausmaß natürlich die Güte des LC-Kreises maßgeblich ist.

Das oben beschriebene und in Fig. 4 dargestellte Ausführungsbeispiel mit einer hochfrequenten Ansteuerung der Sende-elektroden ist jedoch keineswegs einschränkend. Die Ansteuersignale können den Sende-elektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ auch ohne vorherige Modula-

tion zugeführt werden. In diesem Fall ist in der Auswerteeinheit anstelle eines Trägerfrequenzverstärkers und Demodulators üblicherweise ein Ladungsverstärker vorgesehen.

Je nach Winkelstellung des Rotors 3 im Bereich der aktiven Sende-elektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ wird sich in Abhängigkeit von den Steuersignalen und der gewählten paarweisen Ansteuerung der Sende-elektroden an der Empfangs-elektrode ein gewisser Verschiebungsstrom auftreten. Dieser, gegebenenfalls durch einen Ladungsverstärker oder Trägerfrequenzverstärker mit nachgeschaltetem Demodulator in ein Spannungssignal umgewandelte Verschiebungsstrom wird in der Auswerteschaltung 13, die üblicherweise mit einem programmierbaren Mikroprozessor oder einer anwendungsspezifischen Schaltung (ASIC) realisiert ist, durch die Trennstufe in Abhängigkeit von den gewählten Ansteuersignalen in zwei Auswertesignale getrennt, aus welchen durch eine nachgeschaltete Elektronik der Drehwinkel oder gegebenenfalls die Drehwinkelgeschwindigkeit ermittelt werden kann. Eine genaue Erläuterung der Funktionsweise der Auswerteschaltung 13 kann dem oben erwähnten US 5,598,153 A entnommen werden, sodaß an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden muß.

In Fig. 5 ist ein nicht einschränkendes Beispiel für Ansteuersignale der Sende-elektroden 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ bzw. deren paarweise Kopplung dargestellt. Die Ansteuersignale S₁, S₂, S₃, S₄ werden aus zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Rechtecksignalen U₁, U₂ durch permutative Addition dieser Signale z.B. S₁=U₁+U₂; S₂=-U₁+U₂; S₃=U₁-U₂; S₄=-U₁-U₂, gebildet (vgl. Fig. 4 der US 5,598,153 A), wobei die zwei möglichen Potentiale der Ansteuersignale S₁, S₂, S₃, S₄ der Einfachheit halber mit U=0 und U=+U festgelegt werden. Das heißt, die Potentiale der Ansteuersignale sind gegenüber den ursprünglichen Signalen U₁, U₂ um eine Offset-Spannung von U₀=+U/2 versetzt.

Jeder Meßvorgang besteht bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 4 aus zwei Meßphasen die nacheinander ausgeführt werden.

In einer ersten Meßphase (t=0 bis t=T) werden diese vier Signale in einem ersten Ansteuermuster A an eine vorbestimmte Anordnung von paarweise gekoppelten benachbarten Sende-elektroden angelegt, z.B. das Signal S₁ an die Elektroden 5₃ u. 5₄, das Signal S₂ an die Elektroden 5₉ u. 5₁₀, das Signal S₃ an die Elektroden 5₇ u. 5₈ und das Signal S₄ an die Elektroden 5₅ u. 5₆. Die Sende-elektrode 5₂ wird in dieser Meßphase nicht benutzt, sodaß diese mit einem Massepotential angesteuert wird.

Nach dieser ersten Meßphase wird für eine sogenannte neutrale Phase (t=T bis t=T₁) ein neutrales Ansteuermuster angelegt. Dieses neutrale Ansteuermuster hat vorwiegend den Zweck, den Ladungs- oder Trägerfrequenzverstärker der Auswerteeinheit durch eine neutrale Emp-

fangssignal in eine Mittelstellung zu bringen und eine gewisse Zeitspanne für die Auswertung der Meßsignale durch die Trennstufe und die Auswerteeinheit zur Verfügung zu stellen.

In einer nachfolgenden zweiten Meßphase ($t=T_1+T$ bis $t=T_1+2T$) werden die obigen vier Signale S_1 , S_2 , S_3 , S_4 in einem bestimmten zweiten Ansteuermuster B an eine vorbestimmte Anordnung von paarweise gekoppelten benachbarten Sendeelektroden angelegt, die gegenüber der ersten Meßphase um eine einzelne Elektrode versetzt angeordnet ist. Für das obige Beispiel bedeutet dies, daß das Signal S_1 an die Elektroden 5_2 u. 5_3 , das Signal S_2 an die Elektroden 5_8 u. 5_9 , das Signal S_3 an die Elektroden 5_6 u. 5_7 und das Signal S_4 an die Elektroden 5_4 u. 5_5 angelegt wird. Die Sendeelektrode 5_{10} wird in dieser Meßphase nicht benutzt und mit einem Massepotential angesteuert.

Auch nach dieser zweiten Meßphase wird während des Zeitintervales $t=T_1+2T$ bis $t=T_1+2T+T_2$ eine neutrale Phase eingeführt, welche bis zum Beginn des nächsten Meßorganges andauert.

Zur Ansteuerung eines erfindungsgemäßen Sensors mittels der Ansteuersignale gemäß Figur 5 bestehen eine Mehrzahl von alternativen Möglichkeiten. Beispiele hierfür sind in Fig. 5 durch in runde und eckige Klammern gesetzte Elektrodennummern angedeutet. Das Ansteuermuster mit den in runden Klammern angegebenen Elektrodennummern ist insbesondere für eine Verwendung mit einem Sensor von lediglich acht aktiven Sendeelektroden vorgesehen.

Zur Ansteuerung der Sendeelektroden können alternativ zu den oben erwähnten Rechtecksignalen grundsätzlich beliebige, im Zeit- oder Frequenzbereich trennbare (orthogonale) Funktionen gewählt werden, z.B. auch Sinus-/Cosinusfunktionen, Walshfunktionen oder Funktionen mit rationalem Frequenzverhältnis, wobei die Ansteuereinheit 9 z.B. vier Signale liefert, die aus zwei derartigen, trennbaren Funktionen zusammengesetzt sind.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 werden zur eindeutigen Bestimmung der Rotorposition über einen Winkel von 2π durch die Ansteuereinheit zwei zusätzliche, zeitlich trennbare Signale für die Sendeelektroden 5_{12} , 5_{13} bereitgestellt. Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel kann beispielsweise während der neutralen Phase der ersten Meßphase eine erste dieser Sendeelektroden, z.B. Elektrode 5_{12} mit einem Massepotential ($U=0$) gespeist werden, wogegen an die zweite Elektrode 5_{13} ein Gleichspannungssignal ($U=+U$) angelegt wird. Während der neutralen Phase der zweiten Meßphase hingegen, wird beispielsweise an die erste Sendeelektrode 5_{12} ein Gleichspannungssignal ($U=+U$) und an die zweite Sendeelektrode 5_{13} ein Massepotential ($U=0$) angelegt. Durch diesen zusätzlichen Informationsgehalt kann durch die Auswerteeinheit die exakte Stellung des Rotors für einen Winkelbereich von 2π eindeutig

ermittelt werden. Für die Meßeinrichtung ergibt sich in diesem Fall lediglich die Änderung, daß die Ansteuereinheit 9 zwei weitere Ausgänge für die zusätzlichen Sendeelektroden aufweist und dazu eingerichtet ist, diese mit den geeigneten Signalen anzusteuern. Ferner ist in der Auswerteeinheit 13 eine entsprechende Logik zur Trennung der Sendesignale und zur Auswertung dieser Signale vorgesehen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Kapazitiver Drehwinkelsensor mit einem ersten Stator (2), der eine Anzahl elektrisch leitender, voneinander isolierter kreisringsektorförmiger Elektroden (S_i) mit einem vorbestimmten Zentriwinkel aufweist, mit einem parallel zu dem ersten Stator angeordneten zweiten Stator (4), der eine Empfangselektrode (6) aufweist, und mit einem um eine Achse drehbaren, auf einer Welle (7) sitzenden Rotor (3), welcher zumindest einen normal zur Drehachse ausgerichteten, sektorförmigen Flügel (8a, 8b) aufweist, der zwischen dem ersten und dem zweiten Stator und parallel zu diesen angeordnet ist, wobei die Summe der Zentriwinkel aller Sendeelektroden kleiner als 2π (360°) vorzugsweise im Bereich zwischen $\pi/12$ (30°) und $5\pi/6$ (300°) ist und der Zentriwinkel jedes Rotorflügels im wesentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel von n benachbarten Sendeelektroden ist,

dadurch gekennzeichnet, daß

zumindest einer der Statoren eine zu seiner Berandung hin offene Ausnehmung (2a) aufweist, welche beim Zusammenbau ein radiales Einschieben der Welle (7) samt Rotor in den Achsbereich ermöglicht, sodaß der Zentriwinkel dieses Stators (2) kleiner als 360° ist und der Zentriwinkel der Elektrode (6) des zweiten Stators (4) im wesentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel aller Elektroden des ersten Stators (2) ist.

2. Drehwinkelsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden des ersten Stators (2) zwei Schirmelektroden (S_1 und S_{11}) beinhalten.
3. Drehwinkelsensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Stator $2n+1$ ($n \geq 4$) Sendeelektroden ($S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$) aufweist, von welchen zu jedem Zeitpunkt n vorbestimmte Sendeelektroden mit n benachbarten Sendeelektroden elektrisch miteinander verbindbar sind, sodaß zu jedem Zeitpunkt eine einzelne, nicht mit einer benachbarten Sendeelektrode verbundene Sendeelektrode bereitgestellt wird.
4. Drehwinkelsensor nach einem der Ansprüche 1, bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Empfangselektrode (6) als ein Kreisringsektor ausgebildet ist, dessen Zentriwinkel im wesentlichen der Summe der Zentriwinkel aller Sendeelektroden ($S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$) entspricht und die gegebenenfalls durch eine die gesamte Empfangselektrode (6)

umfassende Schirmelektrode (61), die mit einem festem Potential verbunden ist, begrenzt ist.

5. Drehwinkelsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (3) zumindest zwei als Kreissektoren ausgebildete Flügel (8a, 8b, 8c) mit jeweils gleichem Zentriwinkel aufweist.
6. Drehwinkelsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei Flügel (8a, 8b) des Rotors eine unterschiedliche radiale Ausdehnung aufweisen, wobei der die Sendeelektroden (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) aufweisende erste Stator (2) zumindest zwei weitere Elektroden (5₁₂, 5₁₃) aufweist, deren Abstand von der Drehachse größer als die radiale Ausdehnung eines kürzeren Flügels (8a) ist und die im Bereich der radia- len Ausdehnung eines längeren Flügels (8b) angeordnet sind.
7. Drehwinkelsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß alle Sendeelektroden (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀), außer gegebenenfalls zwei Begrenzungselektroden (5₂, 5₁₀), die an den beiden, in radialer Richtung verlaufenden Berandun- gen des Stators (2) angeordnet sind, identische Zentriwinkel aufweisen.
8. Drehwinkelsensor nach einem der Ansprüche 1 und 2 und einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß an den beiden, in radialer Richtung verlaufenden Berandun- gen des ersten Stators (2) die kreisringsektorförmigen Schirmelektroden (5₁, 5₁₁) angeord- net sind, und der Zentriwinkel der Empfangselektrode (6) des zweiten Stators (4) im we- sentlichen gleich der Summe der Zentriwinkel aller Sendeelektroden (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) plus der beiden Schirmelektroden (5₁, 5₁₁) ist.
9. Drehwinkelsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Stator (2) acht oder neun Sendeelektroden (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) mit je einem Zentriwinkel von ca. $\pi/8$ (22,5°) und der Rotor (3) zumindest einen, vorzugsweise zwei diametral angeordnete Flügel (8a, 8b) mit einem Zentriwinkel von ca. $\pi/2$ (90°) auf- weist.
10. Drehwinkelsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Stator (2) acht oder neun Sendeelektroden (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) mit einem Zentriwinkel von ca. $\pi/12$ (15°) und der Rotor (3) zumindest einen, vorzugsweise drei in regelmäßigen Abständen angeordnete Flügel (8a, 8b, 8c) mit einem Zentriwinkel von ca. $\pi/3$ (60°) aufweist.

11. Meßeinrichtung zum Bestimmen eines Drehwinkels mittels eines kapazitiven Drehwinkelsensors gemäß einem der Ansprüche 3 bis 9, gekennzeichnet durch die Kombination der folgenden, an sich bekannten Merkmale: Eine mit den Sendeelektroden des ersten Stators (2) verbundene Ansteuereinheit (9) zur Bereitstellung von zumindest vier unterschiedlichen, elektrisch trennbaren Sendesignalen, eine mit der Empfangselektrode des zweiten Stators (4) verbundene Auswerteeinheit (13) zum Empfangen und Verarbeiten eines einzigen Empfangssignals, wobei die Auswerteeinheit eine Trennvorrichtung zum Trennen des Empfangssignals hinsichtlich der Sendesignale und eine Einheit (13) zur Bestimmung des Drehwinkels oder der Drehwinkelgeschwindigkeit aufweist, eine mit je einem Ausgang an je eine Sendeelktrode ($5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$) angeschlossene Ansteuereinheit (9), die dazu eingerichtet ist, für eine vorbestimmte erste Zeitperiode ($t=0$ bis $t=T$) an zumindest je zwei benachbarte Sendeelktroden ($5_3/5_4, 5_5/5_6, 5_7/5_8, 5_9/5_{10}$) je ein identisches vorbestimmtes erstes Sendesignal (S_1, S_2, S_3, S_4) zu liefern und für eine vorbestimmte zweite Zeitperiode ($t=T+T_1$ bis $t=T_1+2T$) an zumindest je zwei benachbarte Sendeelktroden ($5_2/5_3, 5_4/5_5, 5_6/5_7, 5_8/5_9$) je ein identisches vorbestimmtes zweites Sendesignal (S_1, S_2, S_3, S_4) zu liefern, die mit dem ersten Sendesignal belieferten Sendeelktrodenpaare in bezug auf die mit dem zweiten Sendesignal belieferten Sendeelktrodenpaare um zumindest eine Elektrode versetzt angeordnet sind, und in jeder der beiden Zeitperioden zumindest eine der am Rand liegenden Sendeelktroden (S_{10}, S_2) mit Masse verbunden ist.
12. Meßeinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuereinheit (9) eine Einheit (11) zum Modulieren der Sendesignale mit einem Hochfrequenzsignal und die Auswerteeinheit einen Trägerfrequenzverstärker mit einem Demodulator (12) für dieses Hochfrequenzsignal aufweist.
13. Meßeinrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Empfangselektrode (6) des Drehwinkelsensors (1) ein Schwingkreis (L, C) angeordnet ist, der auf die Trägerfrequenz abgestimmt ist, wobei der Kondensator (C) dieses Schwingkreises die Kapazität der Empfangselektrode (6) beinhaltet.
14. Meßeinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuereinheit (9) dazu eingerichtet ist, zwischen der ersten Zeitperiode ($t=0$ bis $t=T$) und der zweiten Zeitperiode ($t=T+T_1$ bis $t=T_1+2T$) und nach der zweiten Zeitperiode ($t=T_1+2T$ bis $t=T_1+2T+T_2$) während einer neutralen Zeitperiode ($t=T$ bis $t=T+T_1$ und $t=T_1+2T$ bis $t=T_1+2T+T_2$) Ansteuersignale zu liefern, die so gewählt sind, daß im wesentlichen unabhängig von der Stellung des Rotors (3) an der Empfangselektrode (6) ein mittlerer Verschiebungsstrom influenziert wird.

1/4

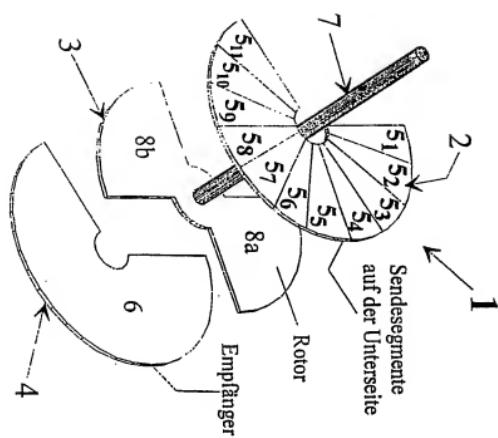


Fig. 1a

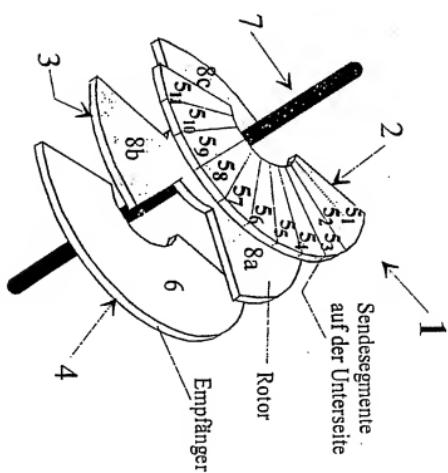


Fig. 2a

2/4

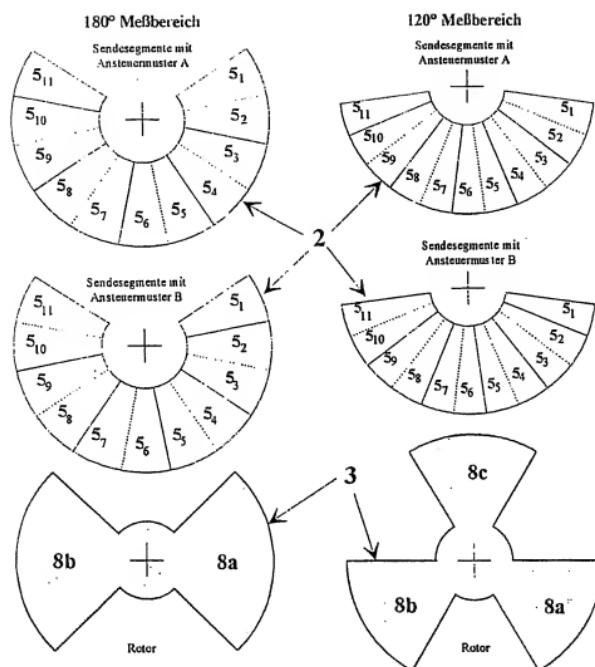


Fig. 1b

Fig. 2b

3/4

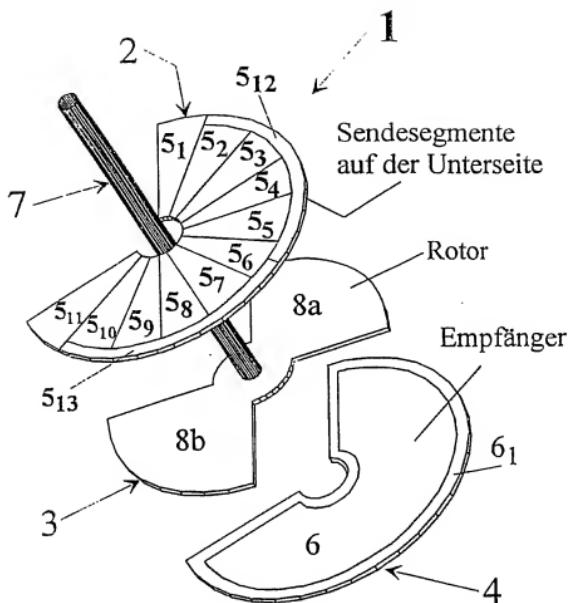


Fig. 3

4/4

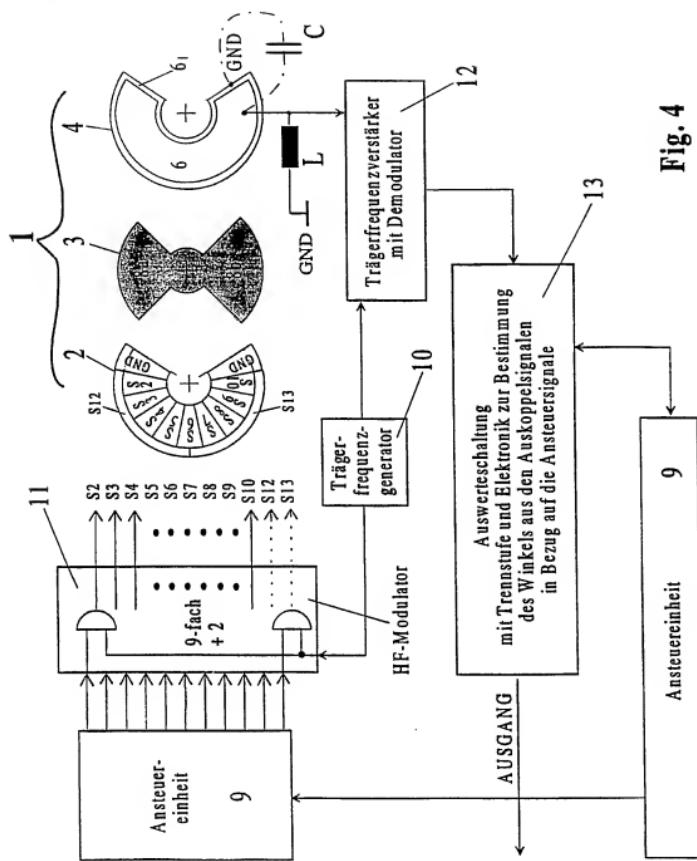
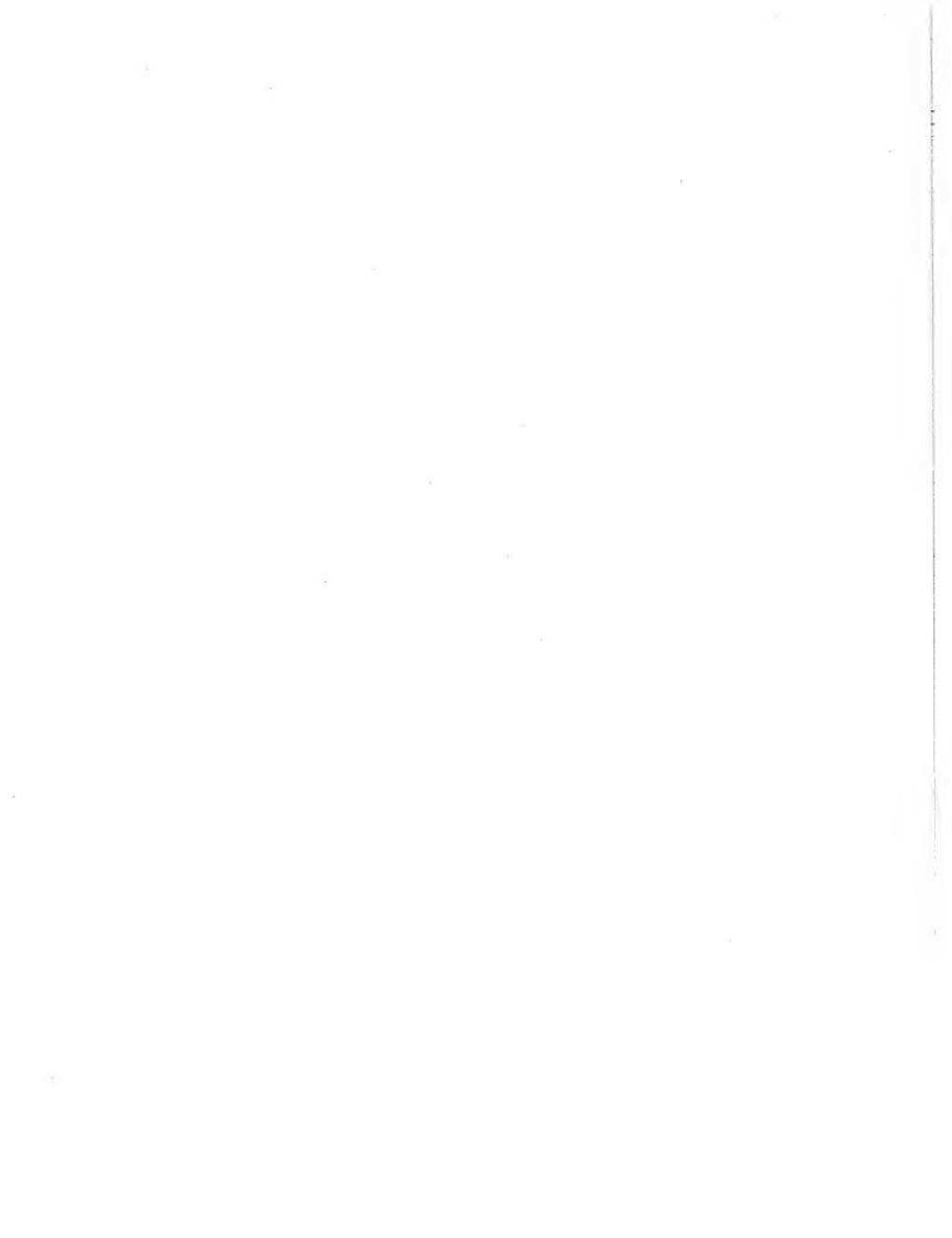


Fig. 4



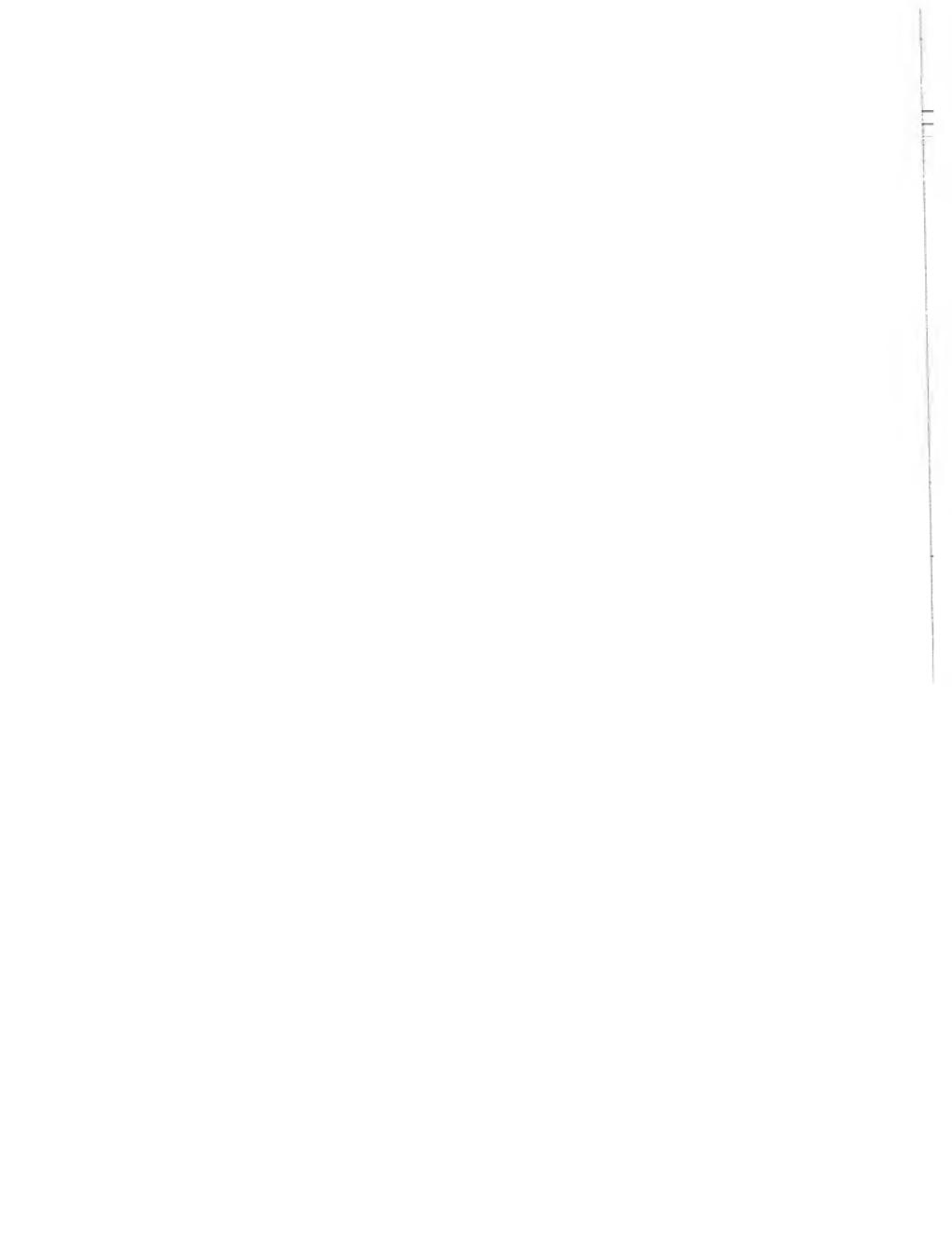
CERTIFICATION

I, Dipl.Ing. Franz Matschnig
of Siebensterngasse 54, 1070 Wien, Austria
hereby certify that I am well acquainted with the English and German
languages and that to the best of my knowledge and belief the following is a
true translation, made by me, of the original text of the specification of
European Patent (UK) No. 0 968 402

Signed:



Dated: this 21st day of September, 2001



CAPACITIVE ANGULAR DISPLACEMENT AND ANGULAR RATE SENSOR AND MEASUREMENT
DEVICE FOR SUCH TRANSDUCER

The present invention relates to a capacitive angular displacement transducer, with a first stator comprising a plurality of electrically conductive circular ring shaped electrodes which are electrically isolated from each other and have a sector angle respectively predefined, with a second stator which is parallel to said first stator comprising a receiving electrode, and with a rotor mounted on a rotatable shaft comprising at least one rotor blade in the form of circle sectors and located perpendicularly to the shaft, said rotor blade being located parallel between said first stator and said second stator, wherein the central angle of each rotor blade is essentially equal to the sum of central angles of n neighboring transmitting electrodes. Furthermore, the invention deals with a measurement signal processing device for determining the angular shaft position by means of a capacitive angular displacement transducer.

Such a capacitive angular displacement transducer and measurement signal processing device results from the applicant's US 5,598,153, for example. This well-known angular sensor features four or eight sector-shaped transmitting electrodes which fully cover a rotational angle of 2π . The receiving electrode is in the form of a circular ring electrode. The rotor comprises one or two sector-shaped blades, and the shape of each blade has to conform to the rule that the central angle of each rotor blade is equal to the sum of the central angles of two transmitting electrodes of the first stator. The measurement signal processing device of such a capacitive angular transducer includes a generator with four outputs electrically connected to the said four or eight transmitting electrodes of the said first stator, as well as an evaluation unit for determining the angular shaft position, connected to the receiving electrode of the said second stator. Due to the special geometric properties of the described sensor and to the design of its measurement signal processing unit, a particularly high measurement accuracy is obtained for a measurement range of 360° , although the design is simple in structure and low in cost. The measurement accuracy is almost unaffected by mechanical tolerances such as rotor offset, tilt and the like.

A tilt angle transducer known from DE 44 24 538 A1 is not equipped with a transmitting and a receiving electrode, but with an equally designed stator electrode arrangement, whereby the

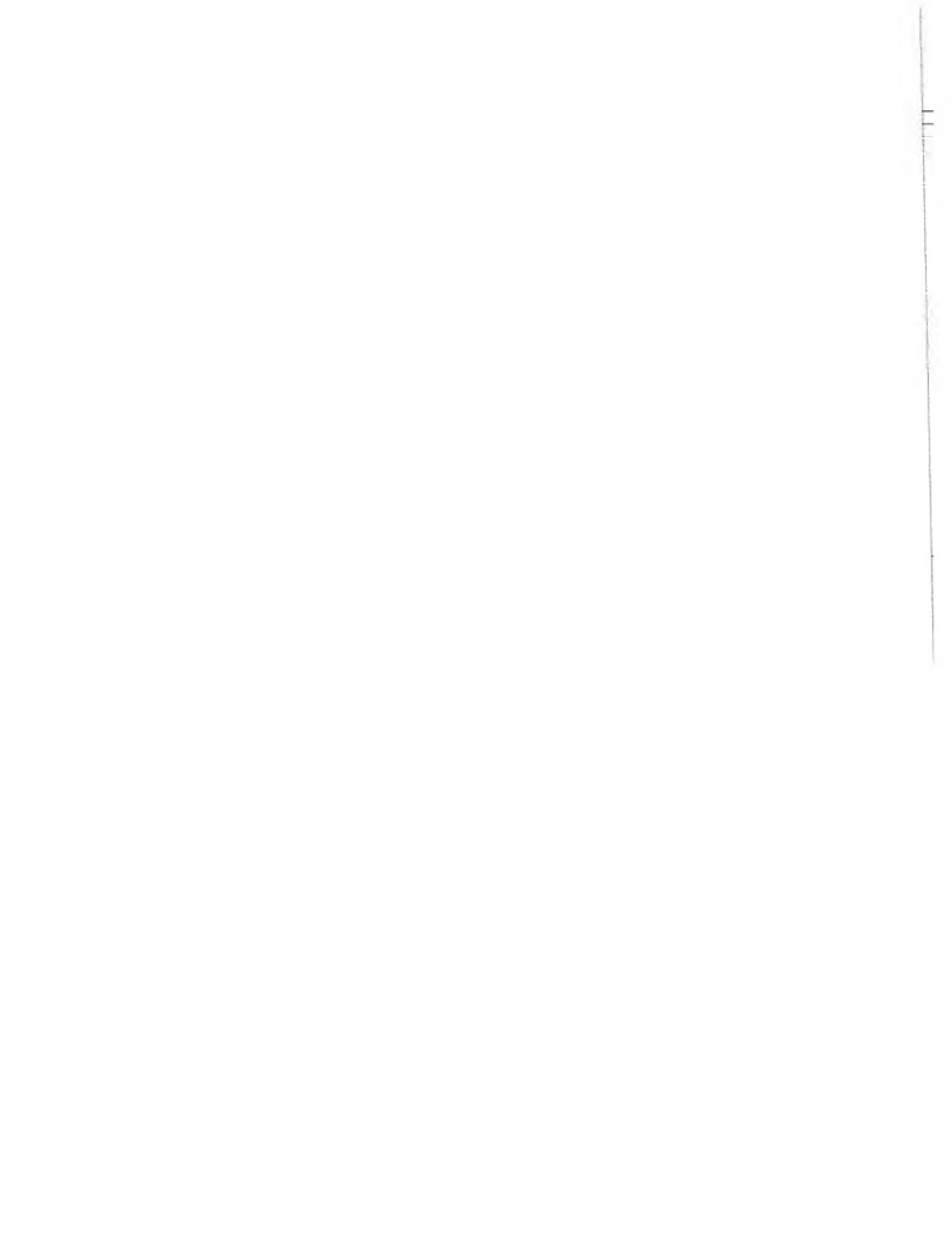


electrodes of the first stator are electrically connected to the electrodes of the second stator and both stators are electrically conductive. The sensor measures the absolute capacitance value, with the objective to obtain the lowest possible frictional resistance, from a first electrode at the first stator by way of a rotor to a second electrode of said first stator, whereby an identical topology of the second stator with corresponding electrodes is connected in parallel. As the principle of operation is non-ratiometric, offset and gain error remain uncompensated as a measuring fault in the measuring chain.

A capacitive linear sensor results from EP 0 538 184 A 1, whereby a cursor position is determined relative to e.g. a scale equipped with grooves. Thereby, different electrode arrangements at the cursor are disclosed, particularly an arrangement with side by side transmitting, shielding and receiving electrodes.

One task of this invention lies in the further development of the sensor disclosed in US 5,598,153 and its related measurement signal processing device in order to reduce the amount of space consumed by sensor outlines and to achieve easy and simple mounting of all sensor components, as well as easy exchange of specific sensor components, while maintaining the simple sensor assembly, the low manufacturing cost at high measurement accuracy.

This task is accomplished by a sensor of the aforementioned type in that at least one of the stators comprises an aperture alongside the outer edge and the sum of central angles of all transmitting electrodes is less than 2π , preferably in the range of $\pi/12$ to $5\pi/6$, whereby said aperture is chosen to allow during assembly a radial insertion of the shaft along with said rotor to its correct shaft position, so that the central angle of this stator is less than 360° and the central angle of the electrode of said second stator is essentially equal to the sum of central angles of all electrodes of said first stator, and said electrodes of the first stator include two shielding electrodes. These inventive measures make it possible to manufacture a sensor with less space consumption. Above all, the said aperture enables the mounting and dismounting of both stators independently of the rotor and of each other, where it is no longer necessary to construct the stator in question as a circular ring disk as a consequence of the reduced electrode area. Although less space is required and the production is simple, it is possible to measure an angular range of 2π with high accuracy using a sensor according to the invention,

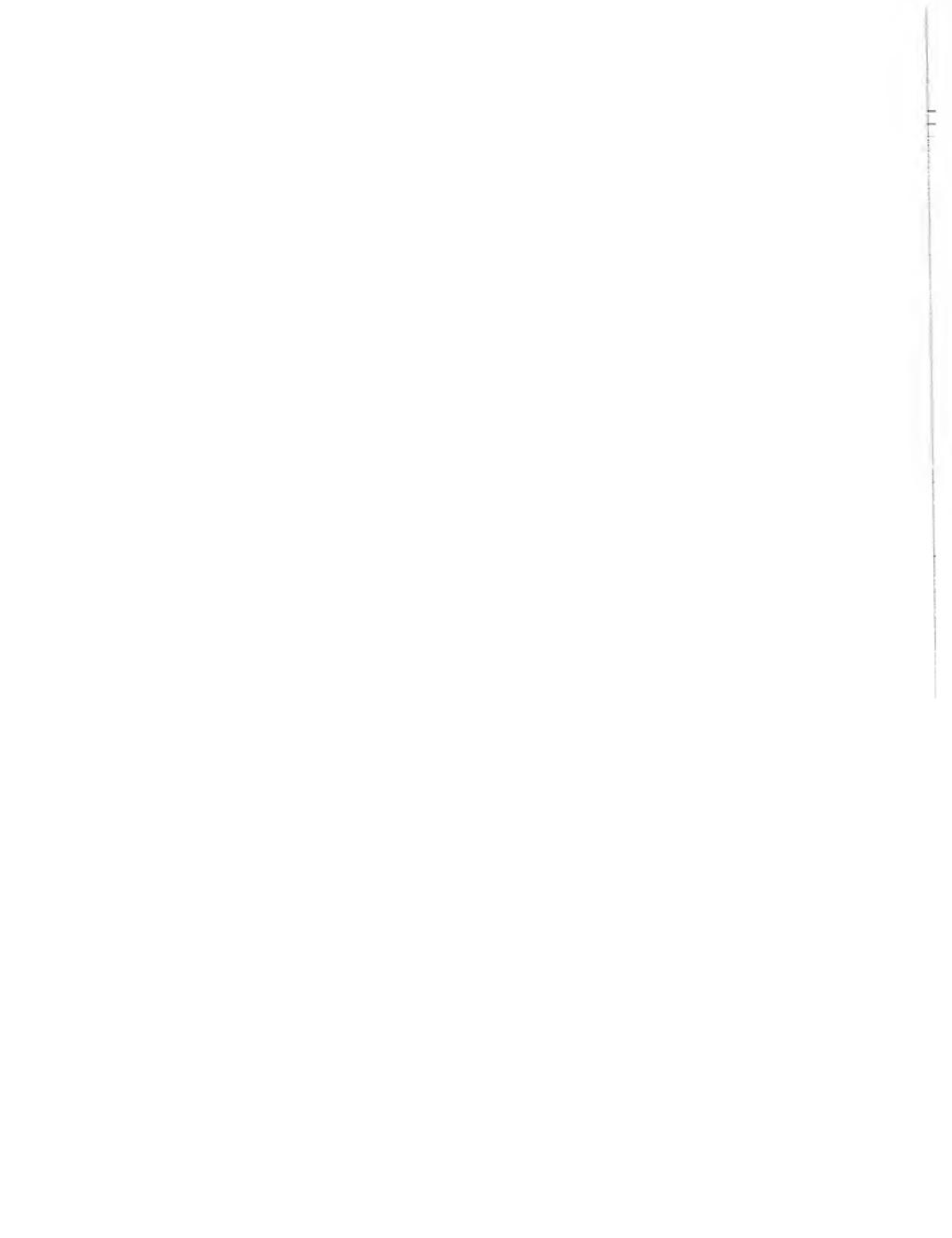


in particular as by means of the shielding electrodes field deviations from external influences are largely avoided.

At the radial edges of the transmitting segments arrangement facing free space, it may happen, if transmitting segments are excited in pairs, that neighboring electrode pairs do not directly neighbor but lie apart so that a different field distribution is present, if applicable, in the region of this electrode pair as compared to those pairs which are immediately neighboring. For this, in a preferred embodiment of this variant it is provided that the stator has $2n + 1$ ($n \geq 4$) transmitting electrodes, of which at any time n predetermined transmitting electrodes can be electrically coupled to n neighboring transmitting electrodes, so that at any time one single transmitting electrode is available without an electrical link to a neighboring transmitting electrode. This arrangement allows paired electrodes to be directly neighboring at all times, so that whichever pairs of transmitting segment couples are excited, field distribution of the same kind for all electrode pairs results.

Furthermore, it was found to be advantageous if the receiving electrode is in the form of a circular ring sector with a central angle essentially equal to the sum of the central angles of all transmitting electrodes. If necessary, the receiving electrode can be completely surrounded by a shielding electrode connected to a fixed potential. In this way a less space consuming receiving electrode is achieved, enabling simple mounting and dismounting.

To achieve a measurement range of 2π (360°) for the sensor, one advantageous application uses a rotor with at least two blades in the form of circular ring sectors with an equal central angle. In order to obtain a simple but unequivocal relation between the rotor position and the angular shaft position it may be advantageous to use at least two rotor blades with different radial dimensions, whereby the first stator carries two more electrodes in addition to the transmitting electrodes. While the said two electrodes have a distance from the shaft which is greater than the radial dimension of a shorter rotor blade, they are located within the area of the radial dimension of a longer rotor blade. Due to the different dimensions of the rotor blades and the corresponding stator electrodes, additional information is obtained in a simple way which provides a reliable absolute angular rotor position.



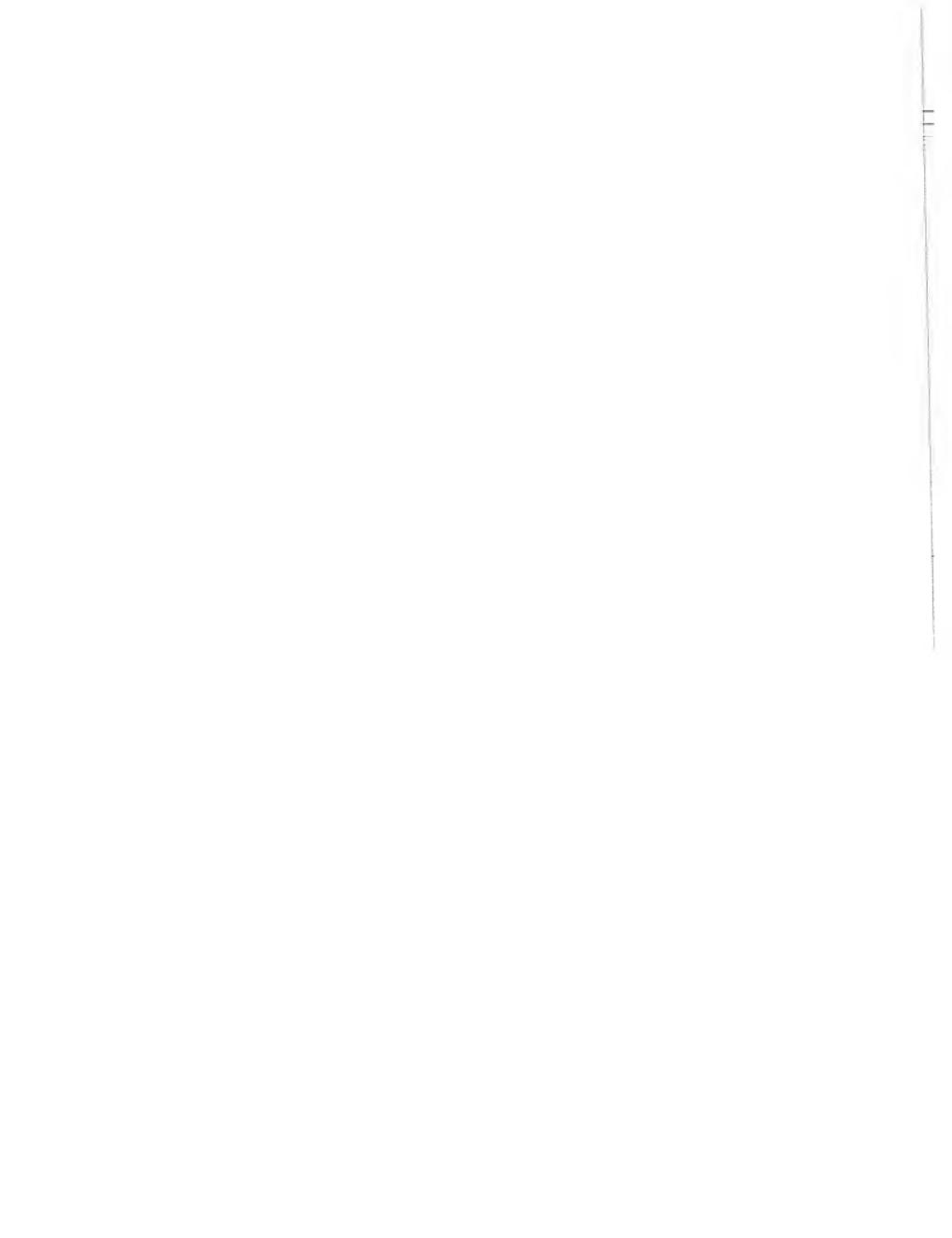
It is advantageous for practical use to use identical central angles for all transmitting segments, except for the two boundary electrodes located at both radial edges of the stator plate. Corresponding to the expected field distribution, the central angle of the said boundary electrodes can be tuned in such a way that at the receiving electrode, on an average, equally sized induced charges (originating from each single transmitting segment) are obtained. Using the expected field distribution as a guideline for sizing the transmitting electrodes proves to be an effective way to achieve a consistent measurement accuracy over the entire measurement range of the sensor.

The sensor's measurement accuracy can be improved further if shielding electrodes shaped as circular ring sectors are arranged alongside the boundaries which point to a radial direction of the first stator, and if the central angle of the receiving electrode of the second stator is essentially equal to the sum of the central angles of all transmitting electrodes plus both shielding electrodes. This leads to slightly more space consumption, but results in an optimal shielding of the sensor along its boundary. Consequently, outside effects leading to possible field deviation inside the sensor can largely be avoided. These measures affect neither the simple sensor assembly nor the exchangeability of sensor components.

Two beneficial but non-limiting applications arise within the context of this invention, for practical purposes. Either the first stator comprises eight or nine transmitting electrodes with a central angle of approximately $\pi/8$ (22.5°) each and the rotor comprises at least one, preferably two diametrically opposed rotor blades with a central angle of approximately $\pi/2$ (90°), or the first stator comprises eight or nine transmitting electrodes with a central angle of approximately $\pi/12$ (15°) each and the rotor comprises at least one, preferably three, equidistantly spaced rotor blades with a central angle of approximately $\pi/3$ (60°).

In the context of this invention it should be pointed out that the angular displacement transducer can not only be used to determine both the absolute or relative angular position, but also to determine the angular rate.

Starting from an angular displacement transducer of the type described, comprising a stator with $2n + 1$ ($n \geq 4$) transmitting electrodes, of which at any time n predetermined transmitting electrodes can be electrically coupled to n neighboring transmitting electrodes, so that at any



time one single transmitting electrode with no electrical link to a neighboring transmitting electrode is available, and including a particularly effective measurement signal processing device which is marked by a combination of the following characteristics: an evaluation unit, connected to the receiving electrode of the second stator, capable of receiving and processing a single input signal, wherein the evaluation unit includes a separation unit to separate the receiving signal with respect to the transmitting signals and a unit for determining the angular position or the angular rate, and a generator connected to each single transmitting electrode with one output each; for a predetermined first interval the generator is capable of delivering two identically predetermined first transmitting signals to at least two neighboring transmitting electrodes, and two identically predetermined second transmitting signals to at least two neighboring transmitting electrodes for a predetermined second interval; the transmitting electrode couples belonging to the first transmitting signal are shifted from those transmitting segment couples belonging to the second transmitting signal by at least one electrode, and during each of the two intervals at least one of the said transmitting electrodes located at the edge has to be connected to ground.

An additional improvement of the generator and the evaluation unit can be obtained if the generator contains a unit for modulating the transmitting signals with an electrical high frequency signal, and if the evaluation unit contains a carrier-frequency amplifier and a demodulator for this high frequency signal. Due to the high frequency modulation (narrow-band system), the sensor is insensitive to disturbing foreign fields and to leakage currents resulting from conductive coatings at the second stator, the receiving disc.

A remarkable improvement of the signal-to-noise ratio can be achieved if a resonant circuit tuned to the carrier frequency is introduced at the receiving electrode of the angular displacement transducer, whereby the capacitor of the resonant circuit includes the capacitance of the receiving electrode.

Furthermore, in the measurement signal processing device the generator may be able to produce excitation signals between the first interval and the second interval, and after the second interval during a neutral interval, the excitation signals being selected in such a way that an average displacement current is induced at the receiving electrode, largely independent of the angular rotor position; consequently, a charge amplifier or a carrier frequency amplifier

included in the evaluation unit is retracted during intervals during which no measurement activity occurs, to an approximate mid-position, independent of the angular rotor position.

Additional benefits and features of the present invention are noted in the following description of non-restricting applications of the invention. The description refers to the attached figures, whereby;

Fig. 1a, 1b show schematically in a perspective view (Fig. 1a) a first variation of a capacitive angular displacement transducer as used in the invention and in a schematically exploded view of several components (Fig. 1b),

Fig. 2a, 2b show schematically in a perspective view a second example of a capacitive angular displacement transducer which conforms to the invention (Fig. 2a) and a schematically exploded view of several components (Fig. 2b),

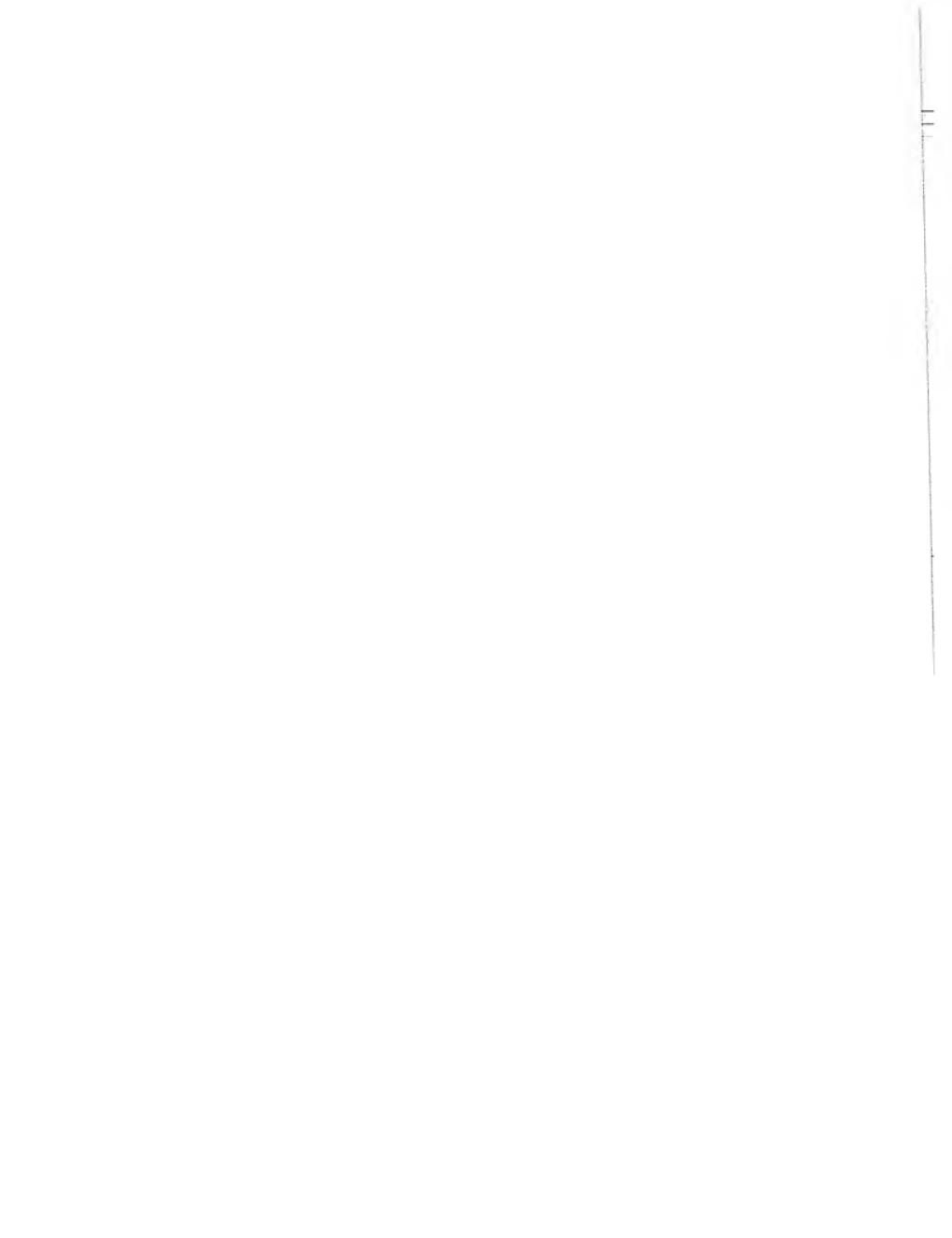
Fig. 3 shows a practical application of the sensor seen in Fig. 1a and 1b,

Fig. 4 shows a schematic example of a measurement signal processing device as prescribed in the invention, and

Fig. 5 shows an example of the operation of the excitation signals of the measurement signal processing device in compliance with Fig. 4.

Firstly, with reference to Fig. 1a and 1b, a capacitive angular displacement transducer 1 is presented, with a first fixed stator 2, a rotor 3 being rotatable along an axis, and a second, equally fixed stator 4, whereby both facing inner surfaces of stators 2, 4 are in parallel alignment and carry the following transmitting and receiving electrodes.

The first stator 2 has, on its the inner surface, a number of electrically conducting transmitting electrodes 5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀, 5₁₁ being isolated from each other and in the shape of a circular ring sector with a predetermined central angle. The said transmitting electrodes are arranged on the first stator 2 with their radial boundaries directly neighboring, forming in total a circular ring sector with a central angle being essentially equal to the sum of all central angles of the transmitting electrodes 5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀, 5₁₁. In



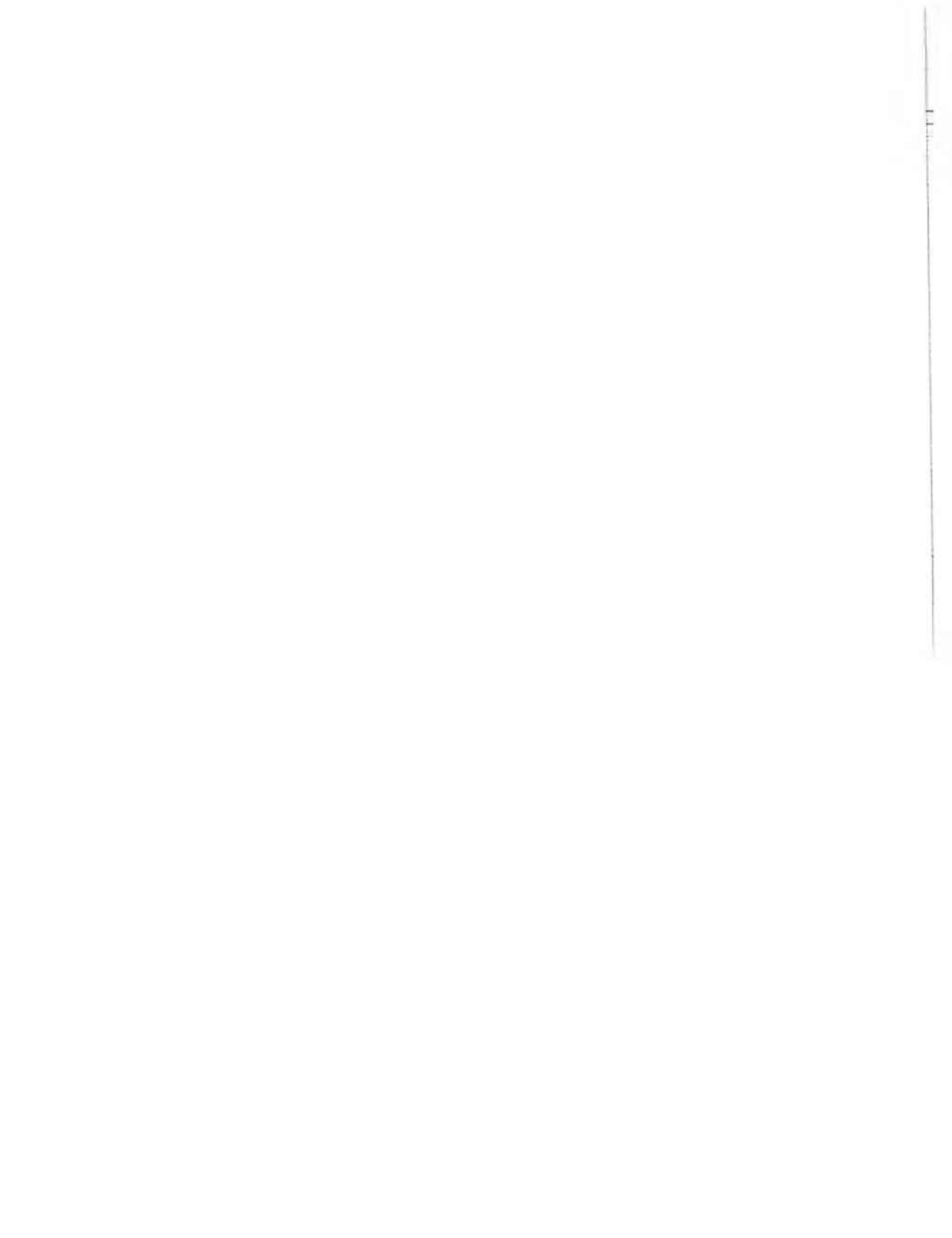
the context of this invention, the total central angle of all transmitting electrodes $5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}, 5_{11}$ is less than 2π and preferably ranges from $\pi/12$ to $5\pi/6$. For a particularly beneficial and practical application of this invention the total central angle ranges from $\pi/2$ to $3\pi/2$.

The second stator 4 has, on its inner surface, one single electrically conducting receiving electrode 6, shaped as a circular ring sector with a central angle equal to the sum of the central angles of all transmitting electrodes $5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}, 5_{11}$. The receiving electrode 6 is perhaps bordered by an encompassing shield electrode connected to a fixed potential.

The rotor 3, which is positioned between the first and the second stator 2, 4 perpendicular to the axis of rotation and parallel to the inner sides of the stators 2, 4, comprises two diametrically opposed rotor blades 8a, 8b which are attached to a shaft 7 rotatable around the axis. The rotor blades 8a, 8b can be made out of a conductive material, e.g. metal, or alternatively out of a dielectric material. Another option suitable for this invention uses insulating material coated with metal on both sides with electrical connections to the metal coats as a rotor material, e.g. a through hole plated printed circuit board.

In the application shown, the central angle of each blade 8a, 8b of the rotor 3 is equal to the sum of the central angles of four transmitting electrodes, e.g. $5_2, 5_3, 5_4, 5_5$, whereby at any time two neighboring transmitting electrodes, e.g. $5_2, 5_3$, are supplied with the same excitation signal. In considering the actual electrical fields, the sum of the central angles of two transmitting areas is at all times relative to the central angle of one rotor blade, whereby each transmitting area is formed by two neighboring electrode areas. Details of the transmitting segment excitation are explained later in detail with reference to figures 4 and 5.

From the eleven transmitting electrodes $5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}, 5_{11}$, shown in Fig. 1a, 1b, the two boundary electrodes $5_1, 5_{11}$ are designated as shielding electrodes, protecting the sensor against external influences, and serve, if needed, to avoid a distortion of the electric field of the outmost transmitting electrodes $5_2, 5_{10}$. The central angle of such boundary electrodes is adapted to the expected field distribution in order to acquire, on average, equally-sized induced charges at the receiving electrode 6. Furthermore, the receiving



electrode 6 of stator 4 can be entirely surrounded by a shielding electrode 6₁ which is usually connected to a fixed potential, e.g. the ground, like the boundary electrodes 5₁, 5₁₁ of stator 2 in order to shield the sensor against interfering radial fields (see the graphical representation of the receiving electrode in Fig. 4). At any time, eight of the nine transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ are permanently excited in couples with an electrical voltage signal so that the first stator 2 always uses four transmitting areas. These four areas are shifted during a measurement cycle by a rotational angle of one transmitting electrode. To give an example: If the transmitting electrodes 5₃/5₄, 5₅/5₆, 5₇/5₈ and 5₉/5₁₀ are coupled in a first measurement phase (refer to Fig. 1b below), the transmitting electrodes 5₂/5₃, 5₄/5₅, 5₆/5₇ u. 5₈/5₉ will be coupled in the second measurement phase (see Fig. 1b above), whereby the transmitting electrode 5₁₀ remains unused in the first measurement phase, and the transmitting electrode 5₂ remains unused in the second measurement phase. Unused, in this context, means connected to a ground potential together with the shielding electrodes 5₁, 5₁₁, for example.

The measurement cycle described above can, in principal, also be used with a stator 2 having only eight transmitting electrodes (e.g. 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉). However, in a specific measurement phase in this variation, two coupled electrodes (e.g. 5₂/5₉) no longer directly neighbor each other. Consequently, the electric field of the said electrode couple has two more boundaries, resulting in a larger field deviation and, in this case, a reduced measurement accuracy has to be expected.

The central angle of all active transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ is essentially identical, and in the example given, measures $\pi/8$, whereby occasional field deviations at the boundary electrodes 5₂, 5₁₀ can be compensated for by adapting the size of the electrodes. In theory, the sum of four transmitting segments fixes the size of the rotor blades 8a, 8b at $\pi/2$. Practically, the fringe fields at the edges of the transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ create the need to adapt the rotor blade size from the geometrical sum of four transmitting electrodes to the size of the expected transmitting fields. Consequently, in accordance with this invention, the central angle of each blade 8a, 8b of the rotor 3 amounts to $\pi/2 \pm \Delta$, whereby delta, if needed, adapts the central angle to the actual field size of a transmitting segment. An alternative to central angle adaptation is a parallel

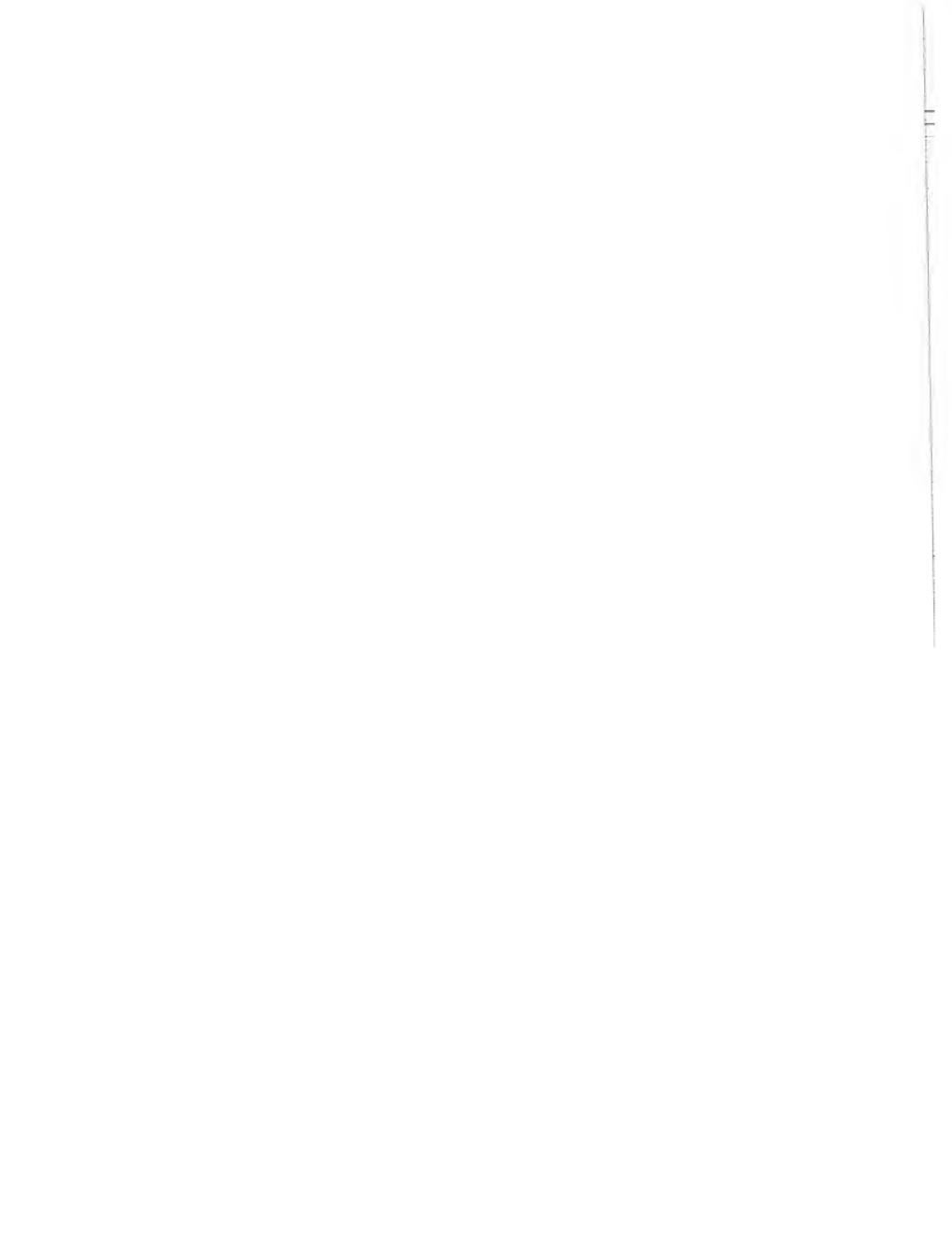
displacing of the radial rotor-blade edges to adapt the blade size. The central angle of the receiving electrode 6 results in a value of $11\pi/8$, if 9 active transmitting electrodes and two shielding electrodes are used.

Fig. 2a and 2b show another variation of an angular displacement transducer 1 and designed in a manner similar to the one presented in Fig. 1a,1b. Therefore, the same terms of notation will be used in the following description for similar components and a detailed explanation of those components will be omitted.

In contrast to the previous example, the size of the central angle of a transmitting electrode $5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$ in the angular displacement transducer as shown in Fig. 2a, 2b is $\pi/12$, or $\pi/6$ when using a pair of transmitting electrodes, so the amount of the central angle of the rotor blade is $2\pi/3$ to comply with the invention. In order to achieve a measurement range of 2π , the rotor 3 has three rotor blades 8a, 8b, 8c. The receiving electrode 6 is designed in the form of a circular ring sector with a central angle of $2\pi/3 + \pi/4 = 11\pi/12$ when using nine transmitting electrodes $5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$ and two shield electrodes $5_1, 5_{11}$.

The operation of the sensor as shown in Figure 2a, 2b is similar to the one shown in Figures 1a, 1b, but it has smaller physical dimensions.

In Figure 3 a variation of sensor 1 is shown in accordance with Figures 1a, 1b, which allows unambiguous, absolute measuring of the rotor angle over a range of 2π . In this variation space is allocated along the outer circumference of the active transmitting electrodes $5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$ for two additional transmitting electrodes $5_{12}, 5_{13}$, shaped as circular ring sectors, which are electrically isolated from each other and from the transmitting electrodes $5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$. Each of the two additional electrodes extends along one half of the total central angle of the transmitter range of the active transmitting electrodes, $5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$. In the example shown, with nine active transmitting electrodes the central angle of each of the additional transmitting electrodes $5_{12}, 5_{13}$ is $9\pi/16$. When using only eight of the active transmitting electrodes the central angle of the additional transmitting electrodes $5_{12}, 5_{13}$ is $\pi/4$.

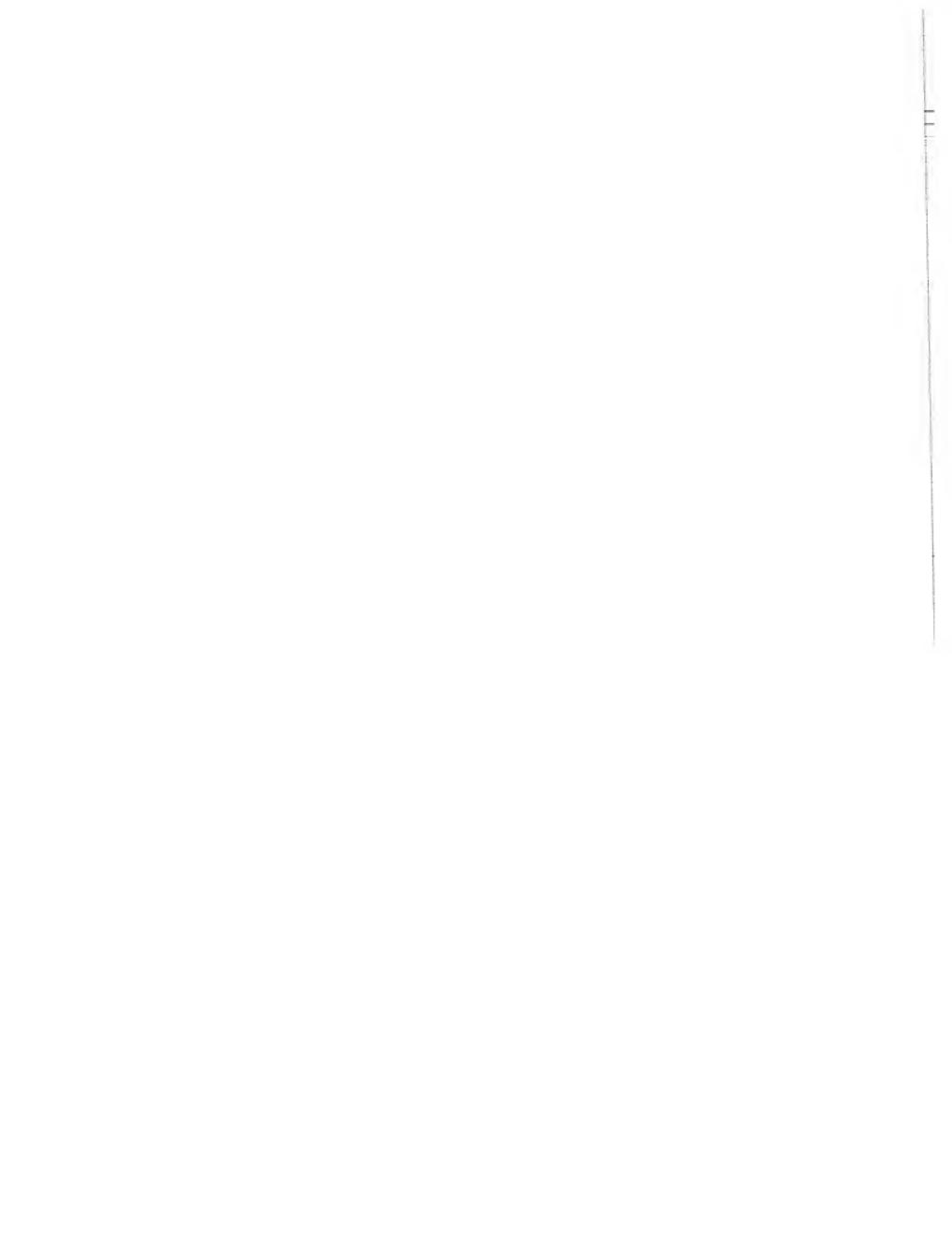


To allow simple use of the additional transmitting electrodes 5₁₂, 5₁₃, the rotor blades 8a, 8b of rotor 3 have different radial lengths as shown in the example. For instance, the length of rotor blade 8a is designed so as not to cover the additional transmitting electrodes 5₁₂, 5₁₃, while the length of rotor wing 8b is designed so as to cover the additional transmitting electrodes 5₁₂, 5₁₃. Consequently, it is possible to tell definitely, from the measurement results, which of the rotor blades 8a, 8b is located within the transmitting area of the first stator. The excitation of the additional transmitting electrodes 5₁₂, 5₁₃ will be explained more closely later with regard to the measurement signal processing device.

With an angular displacement transducer, as shown in Figures 2a, 2b, the additional information about the absolute position could be obtained in a similar way with three rotor blades of different length.

Figure 4 shows a non-limiting application of a measurement signal processing device, in accordance with the invention, using sensor 1 from Figure 1a. The set-up of the measurement signal processing device is basically similar to the previously mentioned US 5,598,153 A of the applicant. With this known device at least two different antenna signals are used which, however, can be separated electronically by virtue of their different temporal behaviors. Preferred signals are those whose alternate components comprise an orthogonal temporal behavior, e.g. sinus-/cosinus-like signals, signals having properties of Walsh-functions or excitation signals which are applied consecutively in time. The received composite signal – a displacement current – is converted in a charge amplifier in a voltage of corresponding amplitude and is split in a separation device, such as filter or a time window, in two transmission functions, from which an evaluation electronic system determines the angle of mechanic rotation.

The measurement signal processing device includes a generator 9, producing four different excitation signals for the active transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ derived from two electrically separable voltage signals. These four signals are provided selectively by the generator 9 at nine outputs, which are electrically connected to the active transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀. An example of how to control the active transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ selectively with excitation signals will be illustrated more closely in Figure 5.

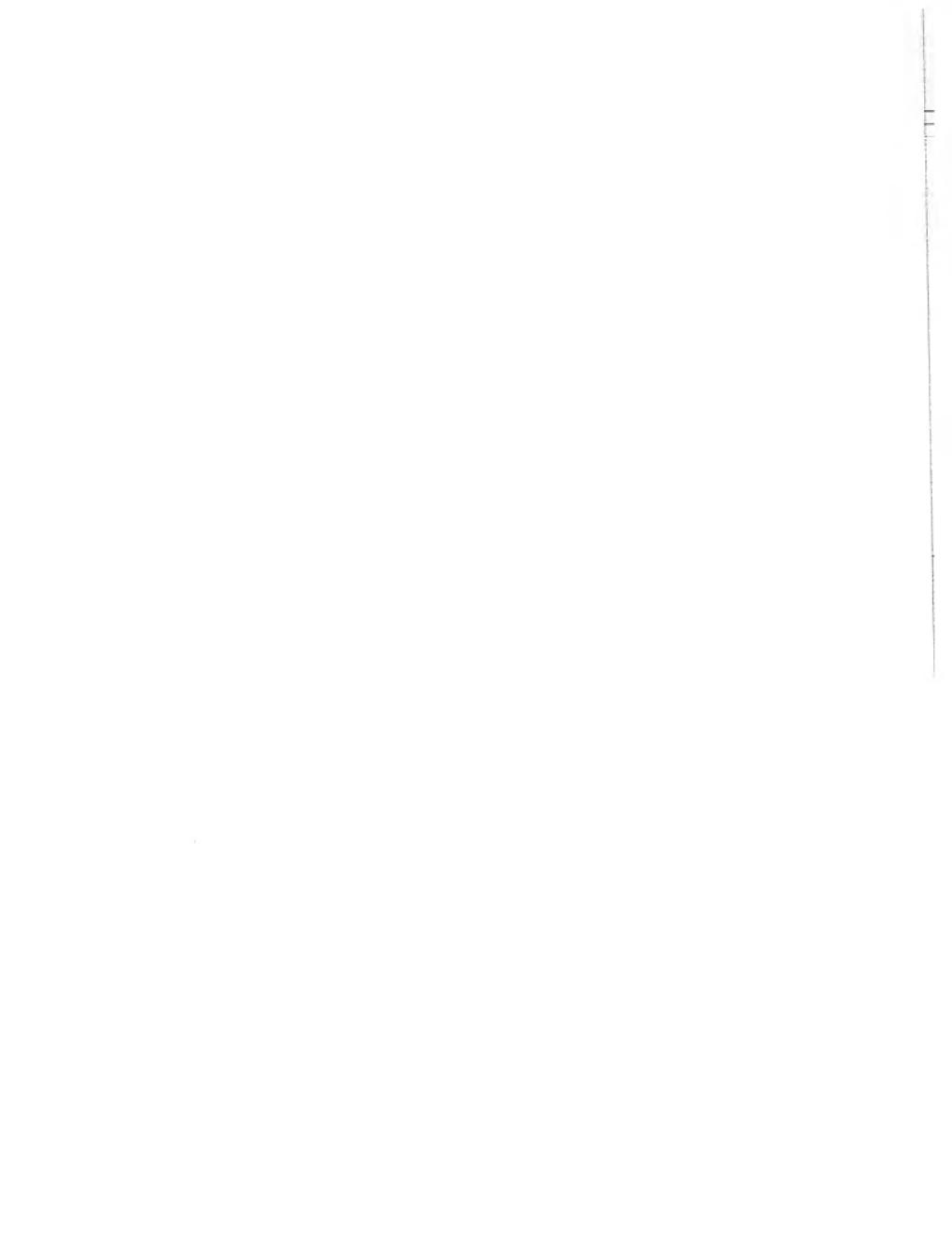


Furthermore, in the example shown, the measurement signal processing device features a HF-modulator 11, supplied by a carrier frequency generator 10, modulating the output signals of the generator 9 with a HF-signal ranging from 100 kHz up to some 100 MHz (e.g. 10.7 MHz). This HF-modulation (narrow band system) with a following carrier frequency amplifier and demodulator 12 makes the sensor less sensitive to disturbance by external fields and leakage currents as a result of conductive coatings at the second stator 4 (receiver disk).

A considerable improvement of signal-to-noise ratio can be achieved in practice by introducing a preselection directly at the sensor location. This can be done, for instance, with a LC-resonant circuit tuned to the frequency. This is indicated in Figure 4: C is the capacitance value of the receiving electrode 6 versus the ground including an optionally shunted additional capacitor and L is the inductance. A selective voltage magnification at the entry to the amplifier 12 can be obtained by this LC-circuit, whose resonance frequency is about 10.7 MHz (as aforementioned), whereas the amount of the voltage magnification depends on the quality factor of the LC-circuit.

The variation described above (as shown in Figure 4) includes the HF-generator used for the excitation of the transmitting electrodes, and is in no way restricting. The transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀ can be supplied with the excitation signals even without previous modulation. In this case, instead of a carrier frequency amplifier, a charge amplifier is usually included in the evaluation unit.

Depending on the angular position of rotor 3 within the area of the active transmitting electrodes 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀, a certain displacement current occurs at the receiving electrode. This current also depends on the excitation signals and the selected type of excitation-in-pairs of the transmitting electrodes. Alternatively, the displacement current can be converted to a voltage signal by a charge amplifier or a carrier frequency amplifier coupled to a following demodulator and fed to an evaluation unit 13 comprising a separation circuit. The separation circuit splits the voltage signal with respect to the selected excitation signals into two evaluation signals, from which the angular position or, if necessary, the angular rate can be evaluated by a connected electronic system. The evaluation unit 13 is usually a programmable microprocessor or an ASIC. A more precise explanation of the operation of the evaluation unit 13 can be taken from US 5,598,153 A as mentioned above, so



there is no need to go into further details here.

In Figure 5 there is a non-limiting example of excitation signals used for the transmitting electrodes $5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$ and their coupling in pairs. The permutative excitation signals S_1, S_2, S_3, S_4 are formed by 2 sequentially square wave signals U_1, U_2 by adding these signals e.g. $S_1 = U_1 + U_2; S_2 = -U_1 + U_2; S_3 = U_1 - U_2; S_4 = -U_1 - U_2$ (see Figure 4 of US 5,598,153 A), whereas the two possible potentials of the excitation signals S_1, S_2, S_3, S_4 are fixed with $U = 0$ and $U = +U$. Therefore, when compared to the original signals U_1, U_2 , the potentials of the excitation signals have an offset of $U_0 = +U/2$.

Each measurement procedure of this example consists of two sequentially performed measuring phases.

In the first measurement phase ($t = 0$ until $t = T$) four signals will be applied to a certain configuration of coupled pairs of neighboring transmitting electrodes with an excitation pattern A, e.g. the signal S_1 will be applied to the electrodes 5_3 and 5_4 , the signal S_2 to the electrodes 5_9 and 5_{10} , the signal S_3 to the electrodes 5_7 and 5_8 and the signal S_4 to the electrodes 5_5 and 5_6 . The transmitting electrode 5_2 will not be used in this phase, so ground potential will be applied.

After the first measurement phase, a neutral control pattern will be applied during a so-called neutral phase ($t = T$ until $t = T_1$). The purpose of this pattern is to retract the charge amplifier and the carrier frequency amplifier of the evaluation unit into a middle position, and, on the other hand, to make a time interval available for the evaluation unit and the separation circuit in order to evaluate the measurement signals.

In a consecutive second measurement phase ($t = T + T_1$ until $t = T_1 + 2T$) the above four signals S_1, S_2, S_3, S_4 are grouped in a specific excitation pattern B and will be applied to a certain configuration of coupled pairs of neighboring transmitting electrodes. In comparison to the first measurement phase the transmitting electrodes are now shifted by one electrode, e.g. the signal S_1 will be applied to the electrodes 5_2 and 5_3 , the signal S_2 to the electrodes 5_8 and 5_9 , the signal S_3 to the electrodes 5_6 and 5_7 and the signal S_4 to the electrodes 5_4 and 5_5 . The transmitting electrode 5_{10} will not be used in this phase, so ground potential will be applied.

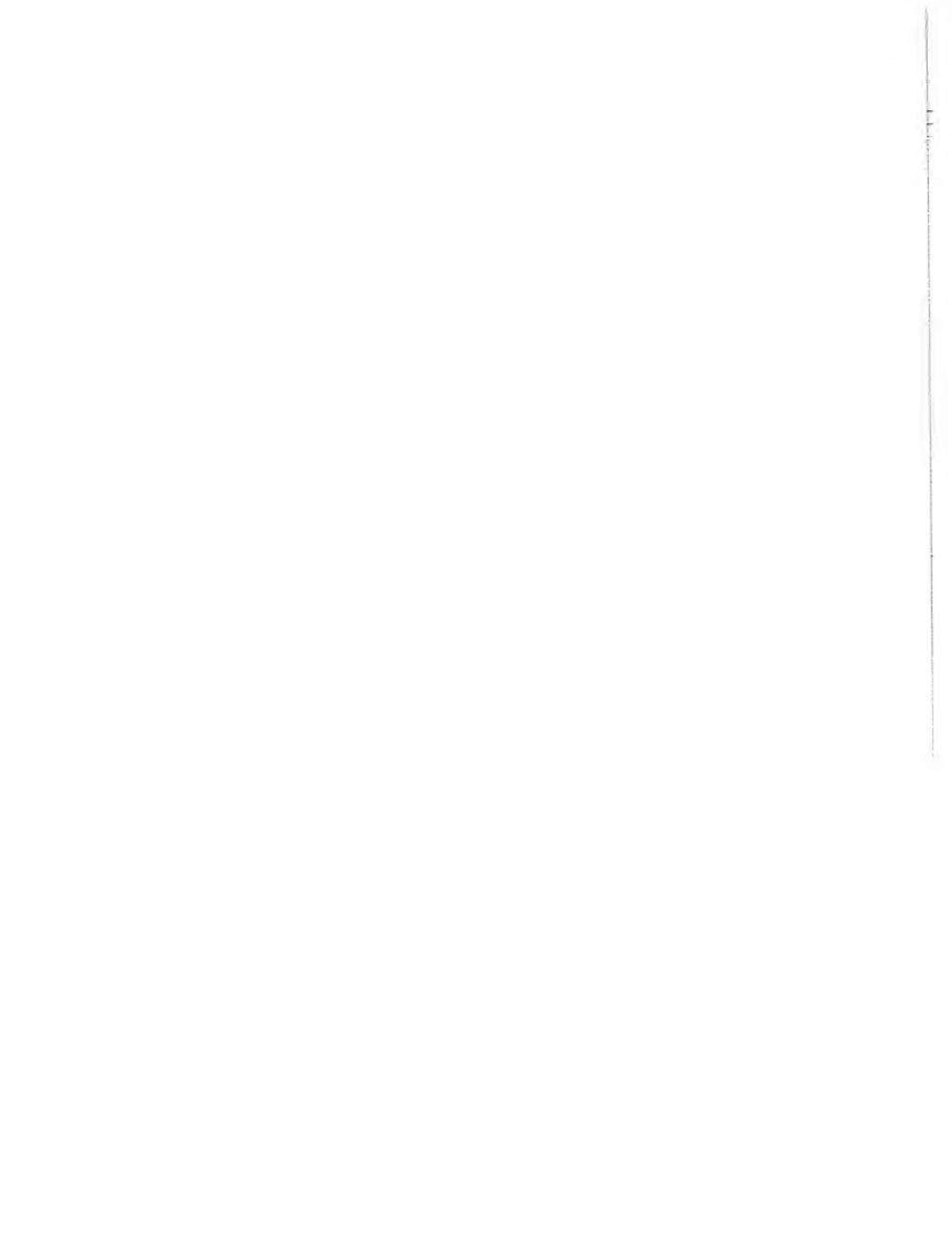


As in the first measurement phase, a neutral control pattern will be applied during the interval $t = T_1 + 2T$ by $t = T_1 + 2T + T_2$ till the beginning of the next phase.

There are many alternative ways of controlling the sensor with the use of excitation signals, as shown in Figure 5. Examples of these are depicted in Figure 5 with electrode numbers in parentheses and square brackets. The control pattern with electrode numbers in parentheses is primarily intended for use with a sensor which has only eight transmitting electrodes.

In principle, alternatively to above-mentioned square signals, any separable (orthogonal) function in the time- or frequency-domain can be used to excite the transmitting electrodes, e.g. sinus-/cosinus-functions, Walsh-functions or functions with rational frequency ratios, wherein generator 9, for example, supplies four signals created from two of the above separable functions.

In the embodiment shown in Figure 3 two additional signals, separable in the time domain, are supplied by the generator to the transmitting electrodes 5_{12} , 5_{13} in order to obtain an exact angular rotor position for a measurement range of 2π . In this example for instance, during the neutral phase of the first measurement phase, it is possible to supply one of the transmitting electrodes, e.g. electrode 5_{12} , with ground potential ($U = 0$) while the second electrode 5_{13} is supplied with a direct voltage signal ($U = +U$). During the neutral phase of the second measurement phase, electrode 5_{12} , for example, can be supplied with a direct voltage signal ($U = +U$) while the second electrode 5_{13} is supplied with ground potential ($U = 0$). This additional information means the exact angular rotor position (valid for a measurement range of 2π) can be obtained by the evaluation unit. In this case there is only one modification needed for the measurement signal processing device: Generator 9 is able to supply appropriate signals to two more outputs usable for the additional transmitting electrodes. Moreover the evaluation unit 13 is capable, in terms of logical circuitry, of separating the transmitting signals and of evaluating such signals.



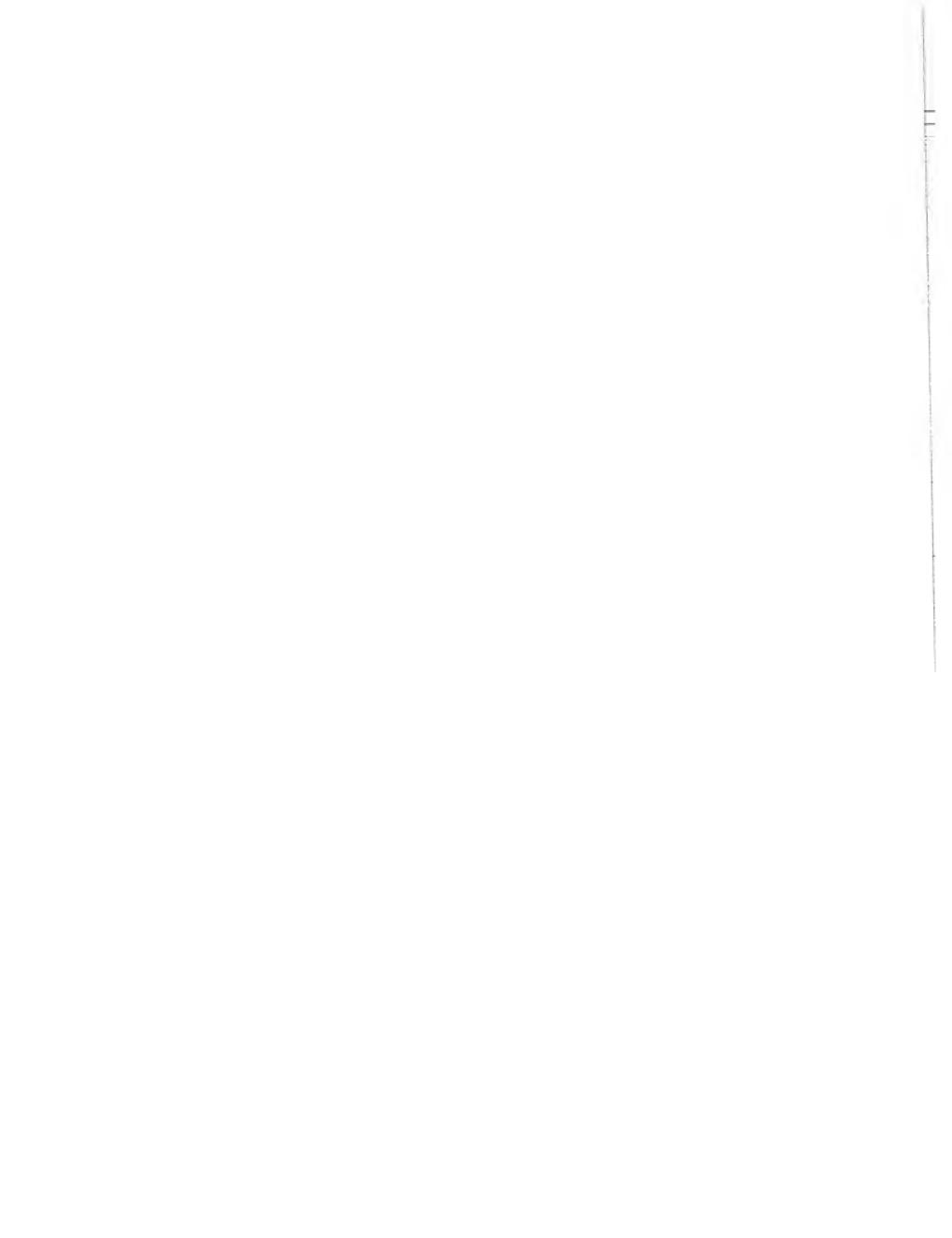
CLAIMS

1. A capacitive angular displacement transducer, with a first stator (2) comprising a plurality of electrically conductive circular ring shaped electrodes (5i) which are electrically isolated from each other and have a sector angle respectively predefined, with a second stator (4) which is parallel to said first stator comprising a receiving electrode (6), and with a rotor (3) mounted on a rotatable shaft (7) comprising at least one rotor blade (8a, 8b) in the form of circle sectors and located perpendicularly to the shaft, said rotor blade being located parallel between said first stator and said second stator, wherein the central angle of each rotor blade is essentially equal to the sum of central angles of n neighboring transmitting electrodes,

characterized in that

at least one of the stators comprises an aperture (2a) alongside the outer edge and the sum of central angles of all transmitting electrodes is less than 2π , preferably in the range of $\pi/12$ to $5\pi/6$, whereby said aperture is chosen to allow during assembly a radial insertion of the shaft (7) along with said rotor to its correct shaft position, so that the central angle of this stator (2) is less than 360° and the central angle of the electrode (6) of said second stator (4) is essentially equal to the sum of central angles of all electrodes of said first stator (2), and said electrodes of the first stator (2) include two shielding electrodes (5_1 and 5_{11}).

2. An angular displacement transducer according to claim 1, **characterized in that** the stator comprises $2n + 1$ ($n \geq 4$) transmitting electrodes ($5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$), of which at any time n predetermined transmitting electrodes can be electrically coupled to n neighboring transmitting electrodes, so that at any time one single transmitting electrode is available without an electrical link to a neighboring transmitting electrode.
3. An angular displacement transducer according to claim 1 or 3, **characterized in that** the receiving electrode (6) is shaped as a circular ring sector with a central angle essentially equal to the sum of the central angles of all transmitting electrodes $5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6, 5_7, 5_8, 5_9, 5_{10}$, the receiving electrode 6 possibly being bordered by an encompassing shielding electrode connected to a fixed potential.



4. An angular displacement transducer according to any of claims 1 to 3, **characterized in that** the said rotor (3) comprises at least two rotor blades (8a, 8b, 8c) in the form of circle sectors with an equal central angle.

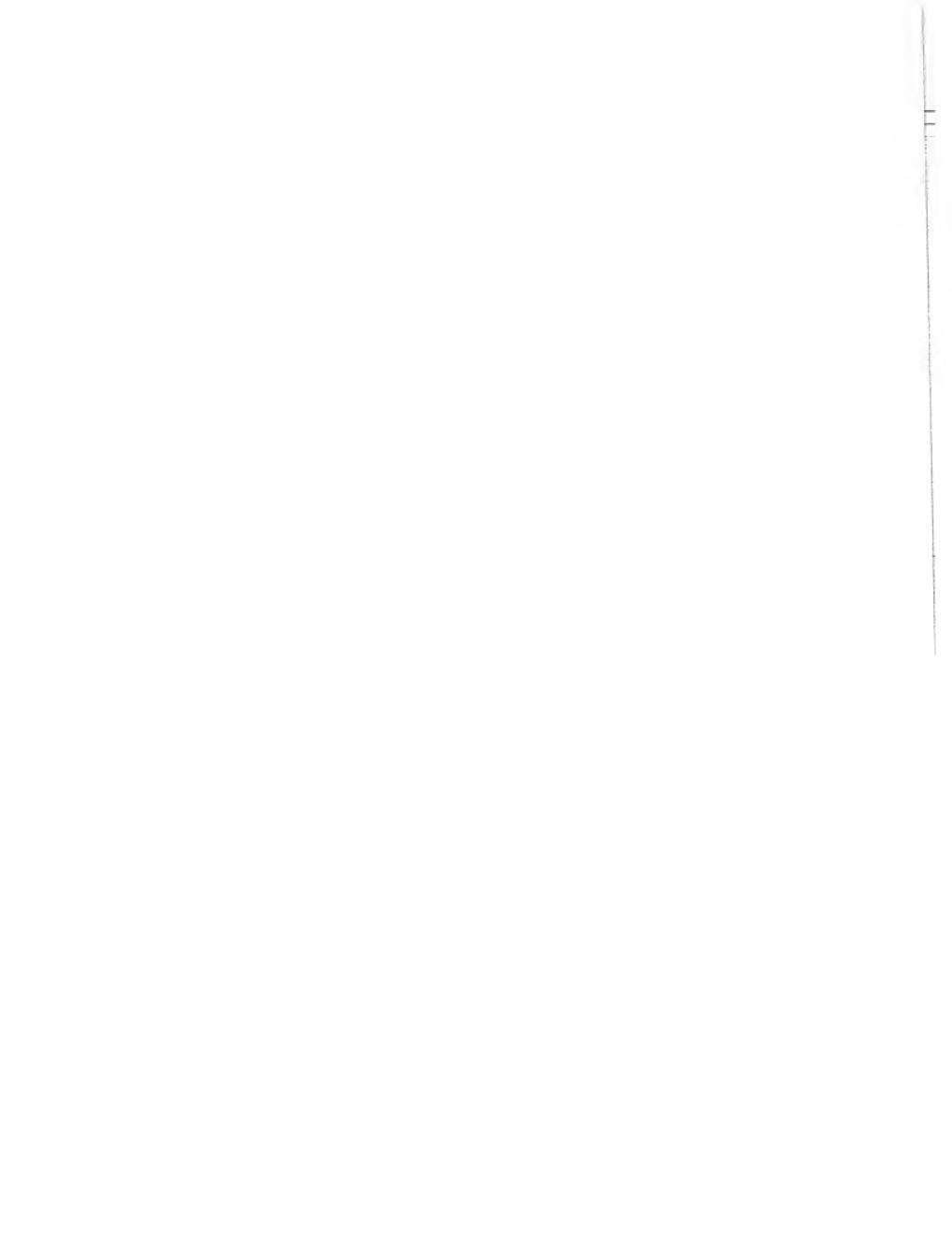
5. An angular displacement transducer according to claim 4, **characterized in that** at least two rotor blades (8a, 8b) have different radial dimensions, whereby said first stator (2) carries at least two more electrodes (512, 513) in addition to the transmitting electrodes (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀), the distance of said two electrodes, located within the area of the radial dimension of a longer rotor blade (8b), from the shaft being greater than the radial dimension of a shorter rotor blade (8a).

6. An angular displacement transducer according to any of claims 1 to 5, **characterized in that** all transmitting electrodes (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀), comprise identical central angles, except possibly for the two boundary electrodes (5₂, 5₁₀), and located at both radial edges of said stator (2).

7. An angular displacement transducer according to any of claims 1 and 6, **characterized in that** the shielding electrodes (5₁, 5₁₁) shaped as circular ring sectors are arranged alongside the two boundaries which point to a radial direction of said first stator (2), and that the central angle of the receiving electrode (6) of said second stator (4) is essentially equal to the sum of the central angles of all transmitting electrodes (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) plus both shielding electrodes (5₁, 5₁₁).

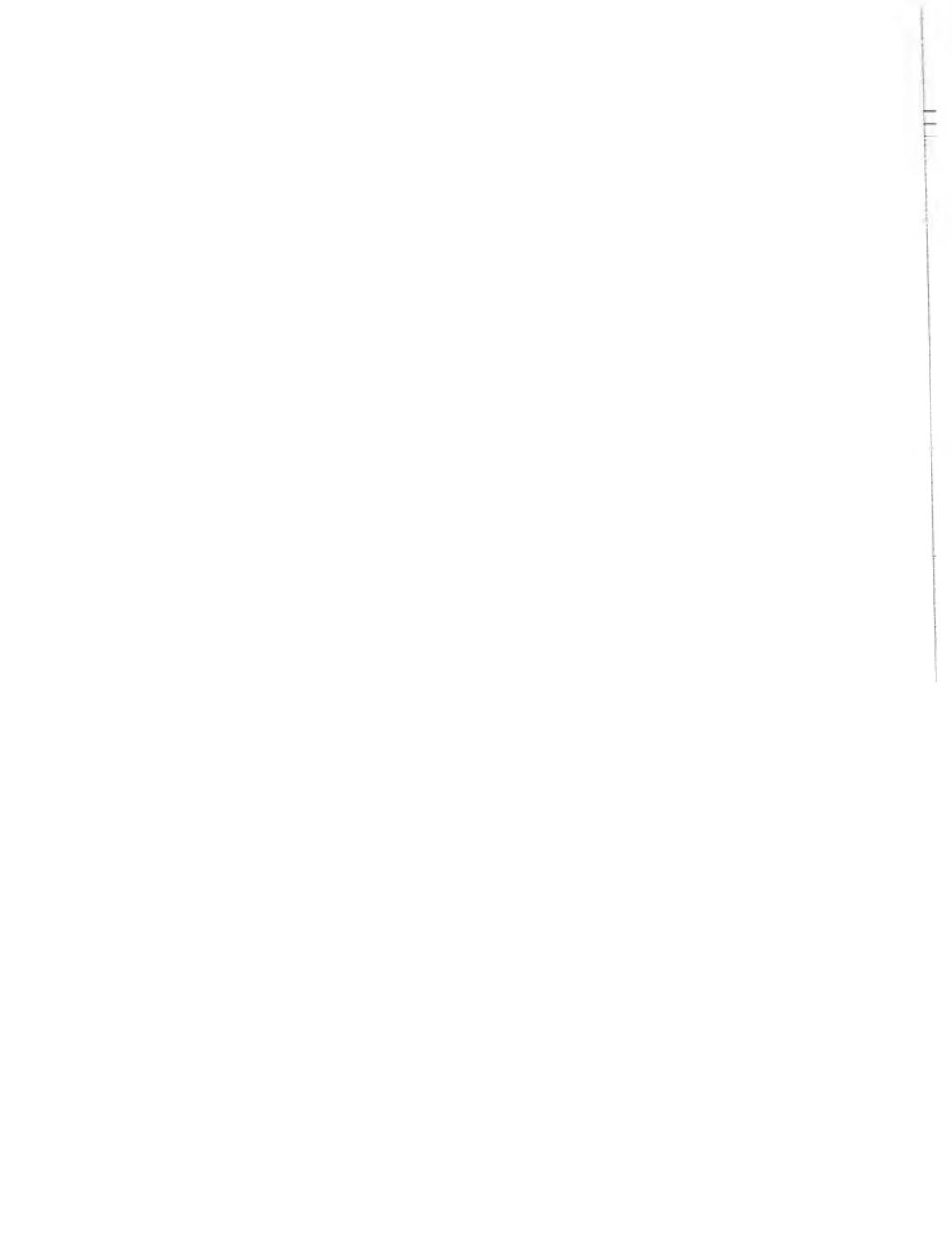
8. An angular displacement transducer according to any of claims 1 to 7, **characterized in that** the said first stator (2) comprises eight or nine transmitting electrodes (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) with a central angle of approximately $\pi/8$ (22.5°) each and the rotor (3) comprises at least one, preferably two, diametrically opposed rotor blades (8a, 8b) with a central angle of approximately $\pi/2$ (90°).

9. An angular displacement transducer according to any of claims 1 to 7, **characterized in that** the said first stator (2) comprises eight or nine transmitting electrodes (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) with a central angle of approximately $\pi/12$ (15°) each and the rotor (3) comprises at least one, preferably three, equidistantly spaced rotor blades (8a, 8b, 8c) with a

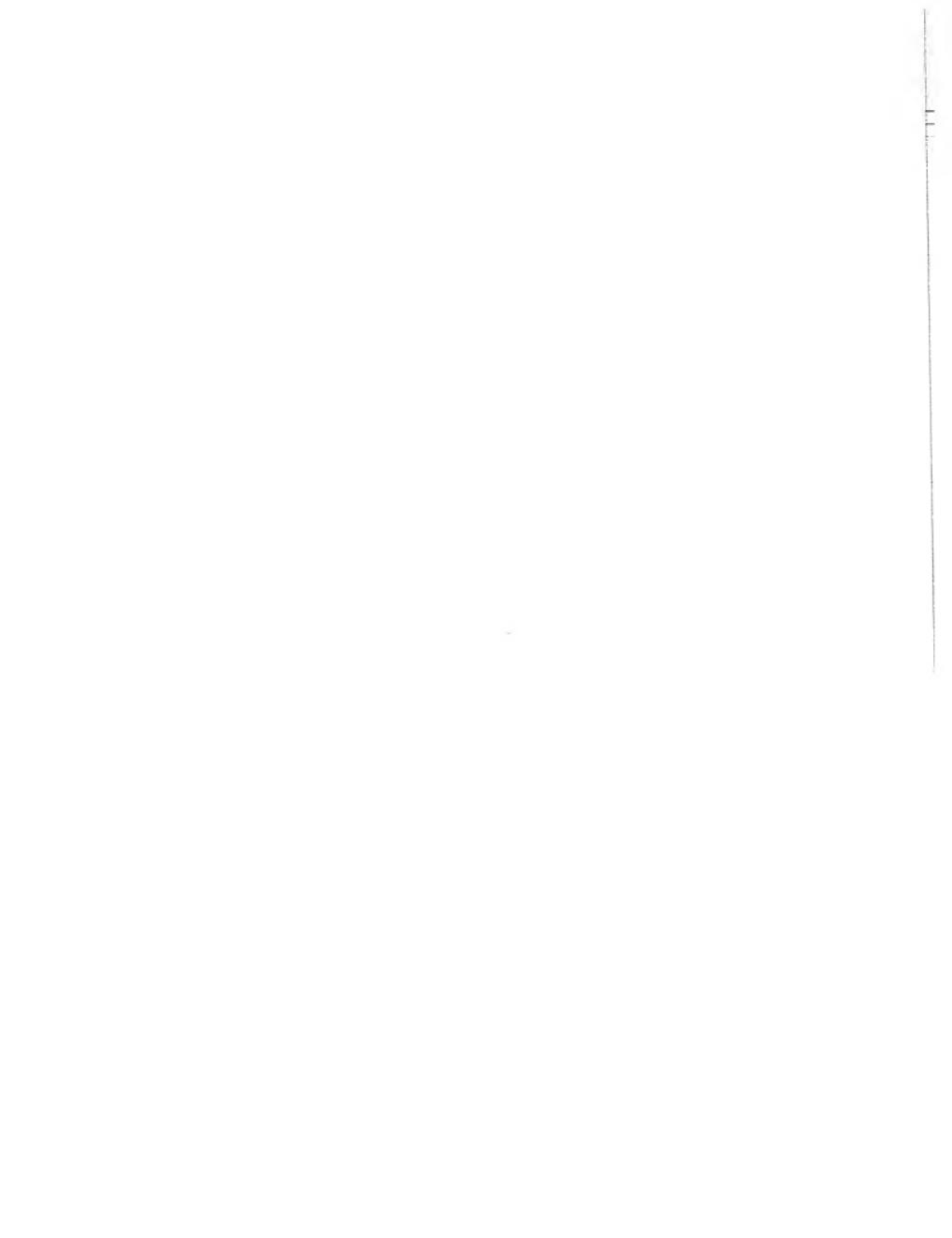


central angle of approximately $\pi/3$ (60°).

11. A measurement signal processing device which can be used to determine the angular shaft position by means of said capacitive angular displacement transducer according to any of claims 2 to 8, **characterized by the combination of the following, principally known features:** The transmitting electrodes of said first stator (2) are connected to a generator (9) providing at least four different, electrically separable transmitting signals; a receiving electrode of said second stator (4) is connected to an evaluation unit (13) capable of receiving and processing a single input signal, whereby said evaluation unit (13) comprises a separation unit to separate the receiving signal with respect to the transmitting signals and comprises a unit (13) to determine the angular position or the angular rate; said generator (9) is connected to each single transmitting electrode (5₂, 5₃, 5₄, 5₅, 5₆, 5₇, 5₈, 5₉, 5₁₀) with one output each; said generator (9) being capable of delivering each one identically predetermined first transmitting signal (S₁, S₂, S₃, S₄) to at least two neighboring transmitting electrodes (5₃/5₄, 5₅/5₆, 5₇/5₈, 5₉/5₁₀), for a predetermined first interval (t = 0 until t = T), and each one identically predetermined second transmitting signal (S₁, S₂, S₃, S₄) to at least two neighboring transmitting electrodes (5₂/5₃, 5₄/5₅, 5₆/5₇, 5₈/5₉) for a predetermined second interval (t = T + T₁ until t = T₁ + 2T); the transmitting electrode couples belonging to the first transmitting signal being shifted from those transmitting segment couples belonging to the second transmitting signal by at least one electrode; during each of the two intervals at least one of the said transmitting electrodes (5₁₀, 5₂) located at the edge being connected to ground.
11. A measurement signal processing device according to claim 10, **characterized in that** the said generator (9) contains a unit (11) for modulating the transmitting signals with an electrical high frequency signal, and the evaluation unit contains a carrier-frequency amplifier and a demodulator (12) for this high frequency signal.
12. A measurement signal processing device according to claim 11, **characterized in that** a resonant circuit (L, C) tuned to the carrier frequency is introduced at the receiving electrode (6) of the angular displacement transducer (1), whereby the capacitor (C) of said resonant circuit includes the capacitance of the receiving electrode (6).



13. A measurement signal processing device according to claim 10, characterized in that said generator (9) is able to produce excitation signals between the first interval ($t = 0$ until $t = T$) and the second interval ($t = T + T_1$ until $t = T_1 + 2T$), and after the second interval ($t = T_1 + 2T$ until $t = T_1 + 2T + T_2$) during a neutral interval ($t = T$ until $t = T + T_1$ and $t = T_1 + 2T$ until $t = T_1 + 2T + T_2$), the excitation signals being selected in such a way that an average displacement current is induced at said receiving electrode (6), essentially independent of the angular position of the rotor (3).



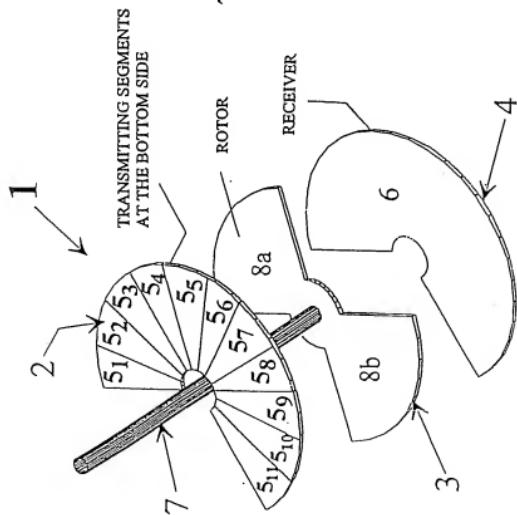
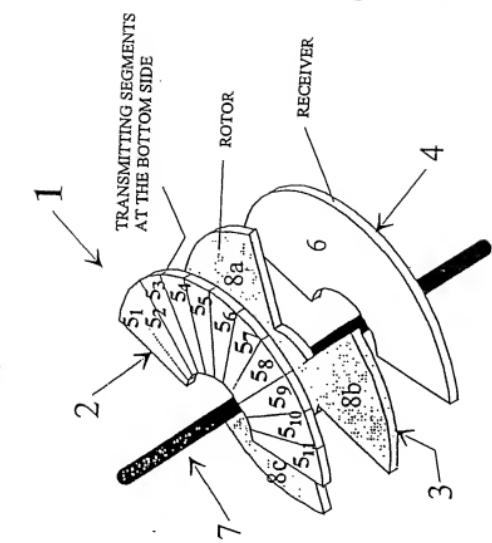


Fig. 2a

Fig. 1a

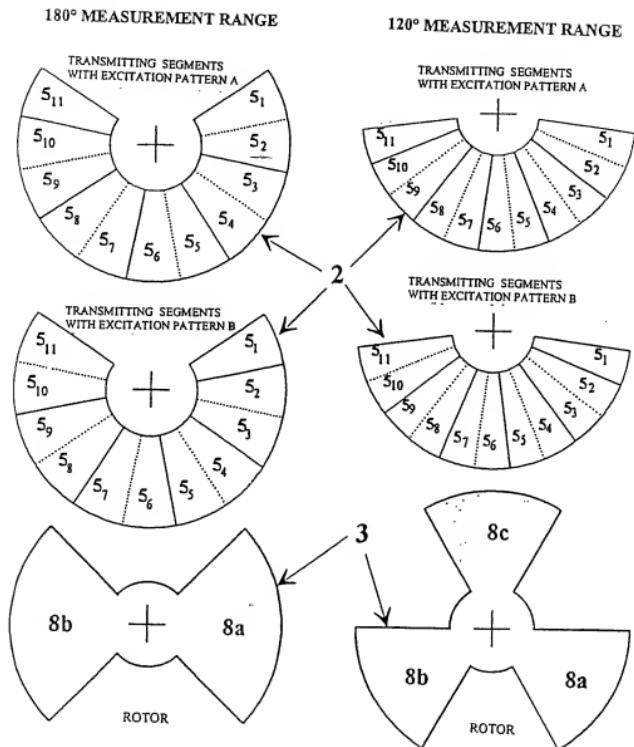
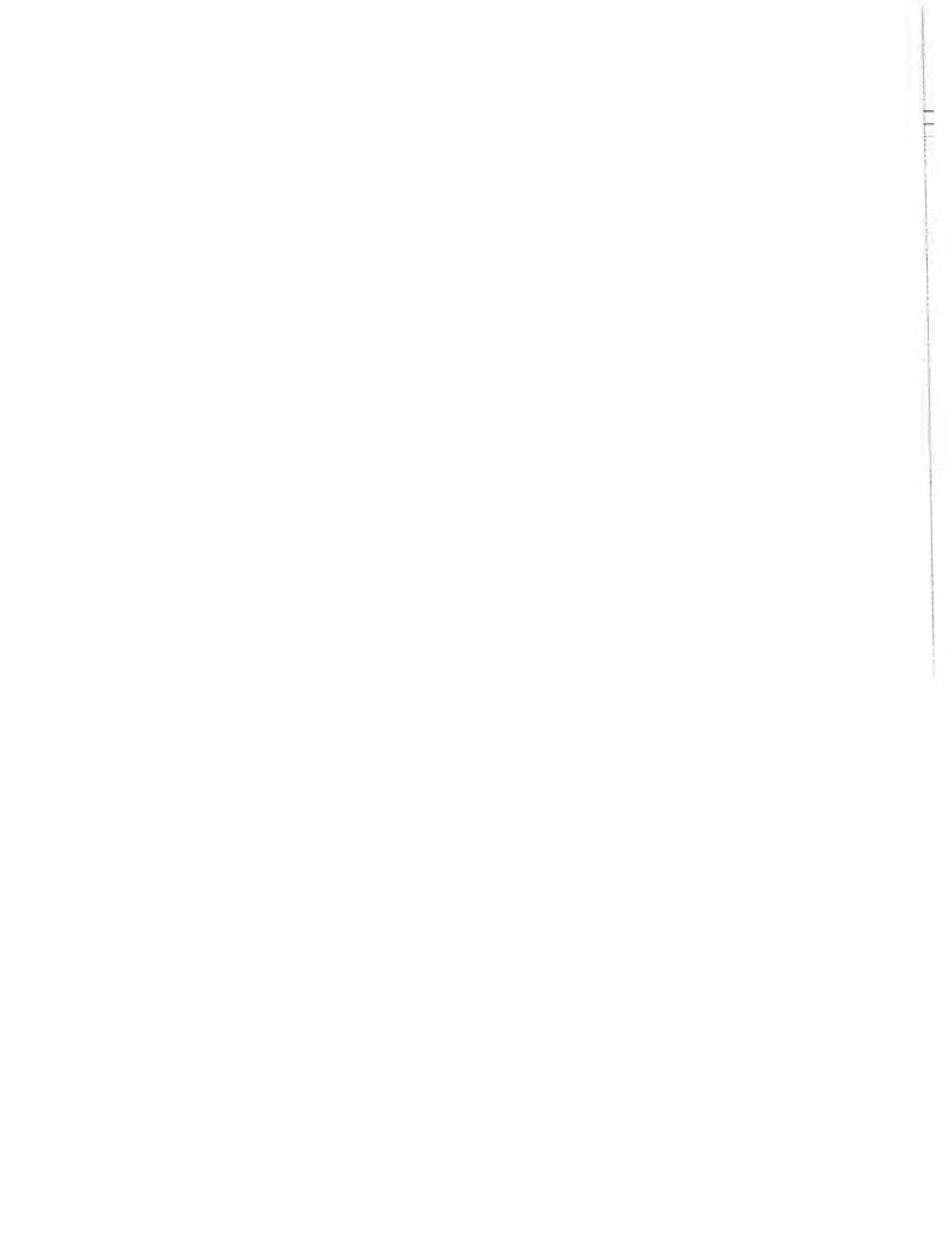


Fig. 1b

Fig. 2b



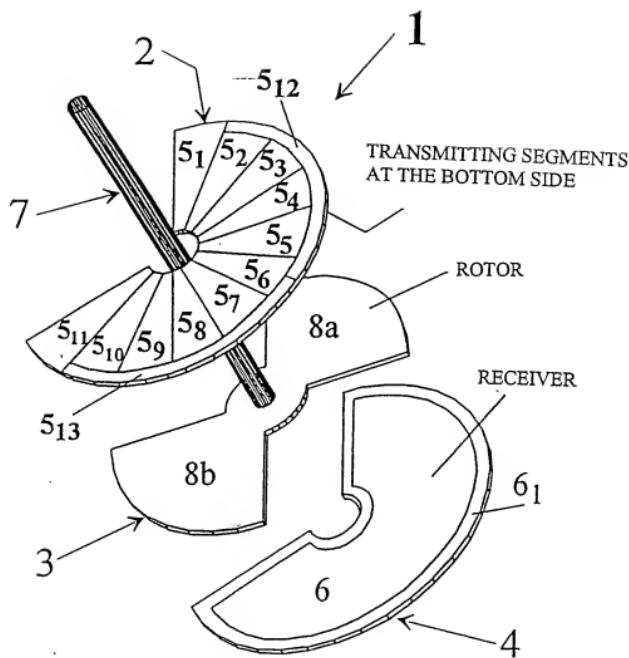
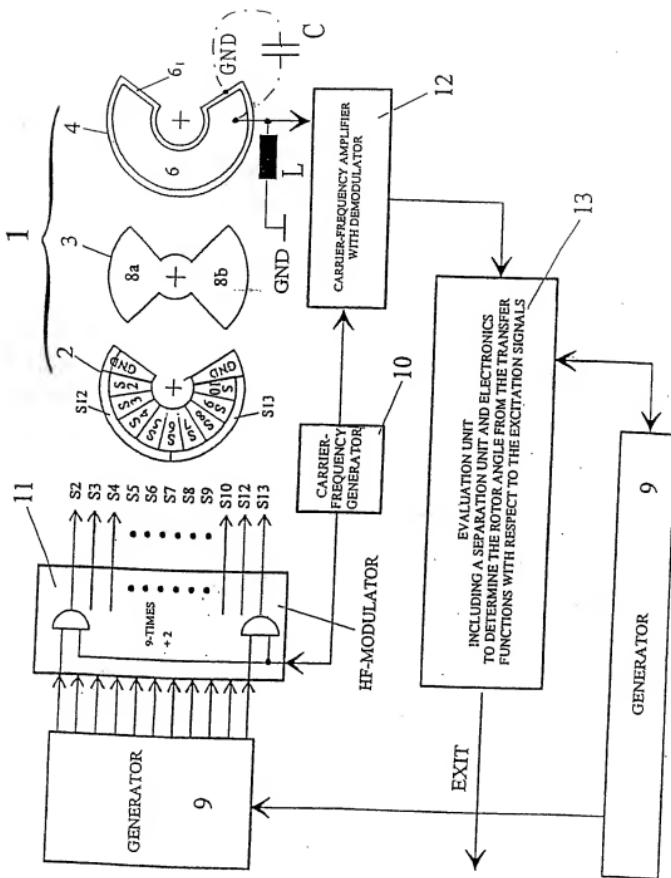
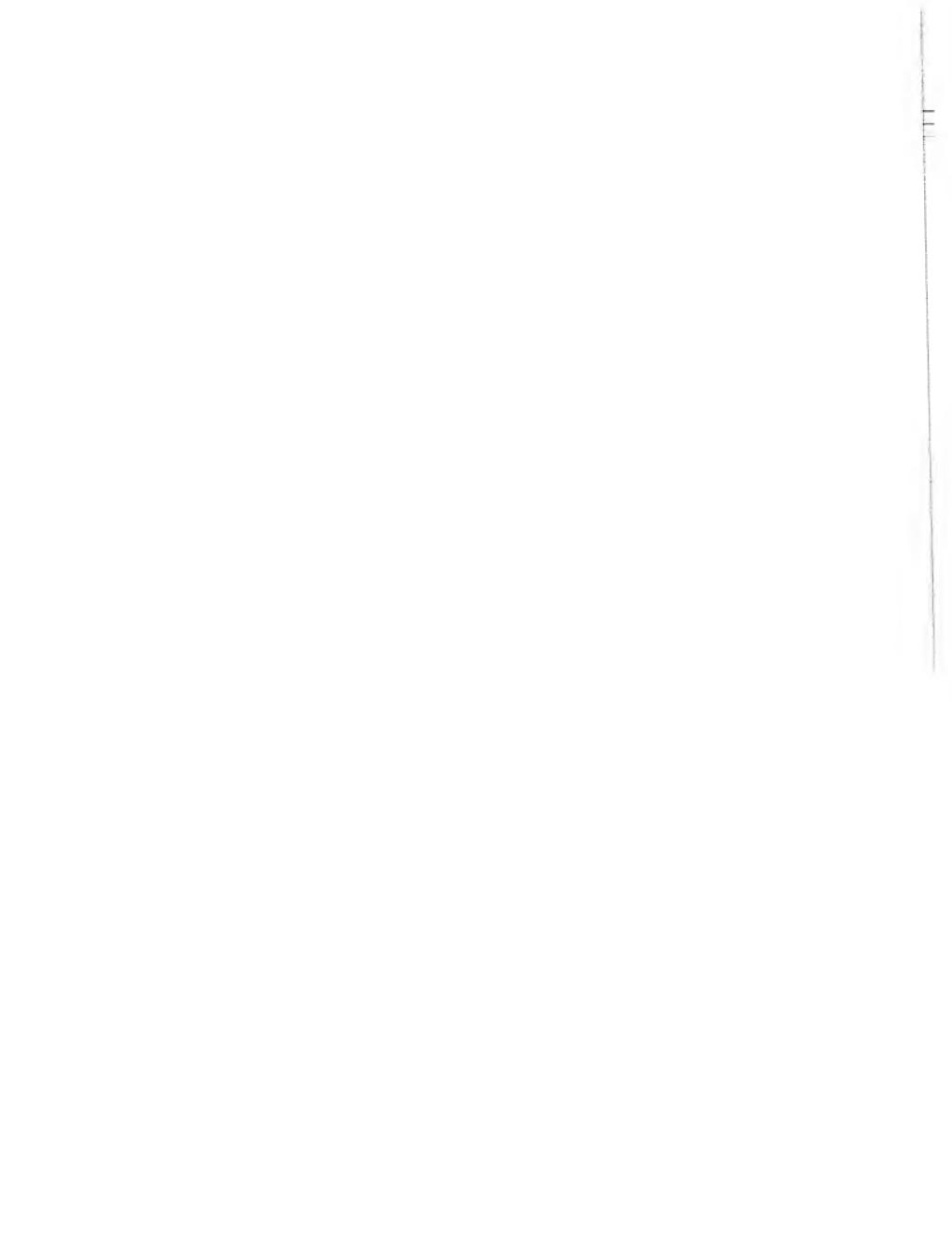
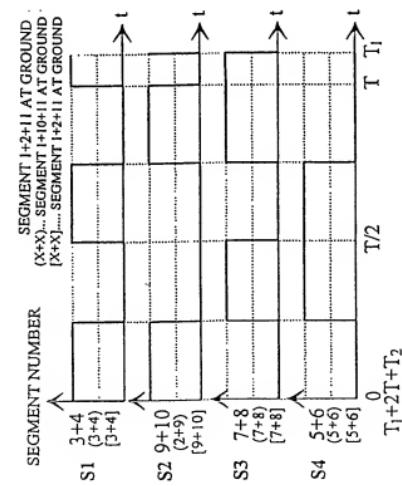


Fig. 3





EXCITATION PATTERN A



EXCITATION PATTERN B

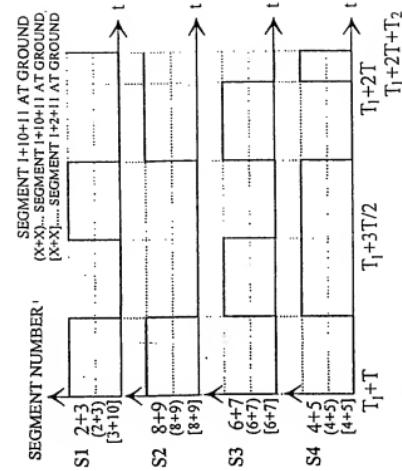


Fig. 5

